В. Л. ПИСАРЕНКО, М. Л. РОГИНСКИЙ

ВЕНТИЛЯЦИЯ РАБОЧИХ МЕСТ В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

МОСКВА
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»
1981

УДК 628.83 : 65.015.12 : 621.791
П34
ББК 38.762

Редактор канд. техн. наук *Т. А. Фиалковская*
Рецензент канд. техн. наук **О. Н. Тимофеева**

Писаренко В. Л., Рогинский М. Л.
П34 Вентиляция рабочих мест в сварочном производстве. — М.: Машиностроение, 1981. — 120 с., ил.

40 к.

В книге рассмотрены основные вредные вещества, выделяющиеся при сварке и тепловой резке, дана гигиеническая оценка различных методов сварки, резки и плазменной обработки металлов и сварочных материалов, указаны предельно допустимые концентрации основных вредных веществ, дан анализ состояния санитарно-гигиенических условий труда в сварочных производствах. Приведены основы расчетов местных отсосов различных видов, рассмотрены наиболее удачные решения и конструкции вентиляционных устройств. Освещены вопросы экономической эффективности внедрения вентиляции при сварке.

Книга предназначена для инженерно-технических работников, занимающихся вопросами вентиляции в сварочном производстве. Она представляет интерес для технических инспекторов, общественных инспекторов по охране труда.

П 30102-254 ББК 38.762
038(01)-81 254-81. 3206000000 6П5

ИБ № 2832

ВАДИМ ЛЕОНИДОВИЧ ПИСАРЕНКО, МИХАИЛ ЛЬВОВИЧ РОГИНСКИЙ

ВЕНТИЛЯЦИЯ РАБОЧИХ МЕСТ В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Редактор издательства *В. И. Яковлева*
Художественный редактор *С. С. Водчиц*
Технический редактор *А. Ф. Уварова*
Корректор *Н. И. Шарунина*
Обложка художника *А. Я. Михайлова*

Сдано в набор 25.03.81. Подписано в печать 13.08.81. Т-23619.
Формат 60×90 1/16. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная
Печать высокая. Усл. печ. л. 7,5. Уч.-изд. л. 7,9. Тираж 31 800 экз.
Заказ 133 Цена 40 к.

Издательство «Машиностроение», 107076, Москва, Б-76, Стромынский пер., 4.
Московская типография № 4 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
129041, Москва, Б. Переяславская ул., д. 46.

© Издательство «Машиностроение», 1981 г.

В нашей стране вопросам оздоровления условий труда и ликвидации причин профзаболеваний всегда придавалось первостепенное значение. На современном этапе создания материально-технической базы коммунизма эти вопросы становятся важнейшей общегосударственной задачей. Претворяя в жизнь заветы В. И. Ленина, указавшего, что технический прогресс при социализме неминуемо сделает условия труда более гигиеничными, избавит миллионы рабочих от дыма, пыли и грязи, на наших предприятиях проводят большую работу по созданию благоприятных санитарно-гигиенических условий труда.

Улучшение условий труда в сварочном производстве как серьезный фактор сохранения здоровья рабочих и повышения производительности труда находится в центре внимания ученых нашей страны.

За последние годы электросварка, наплавка и тепловая резка металлов стали ведущими технологическими процессами в промышленности и строительстве. Доля сварных конструкций в общем балансе заготовок по стране превышает 40%, а всего выпускается свыше 35 млн. т сварных конструкций в год. Проектируются и строятся крупные сварочные производства—центросвары, где широко применяются механизированные и автоматизированные методы сварки и резки; осуществляется механизация технологических и вспомогательных процессов и, что особенно важно, — первостепенное внимание уделяется вопросам вентиляции.

В ближайшие годы в связи с общим увеличением масштабов сварочных работ возрастет количество рабочих, занятых сваркой (особенно полуавтоматической и ручной). Интенсификация сварочных процессов, применение новых высоколегированных материалов в сварочных конструкциях и новых методов сварки и тепловой резки обусловят появление в зоне дыхания сварщиков новых, еще не исследованных вредных веществ. Необходима разработка эффективных методов борьбы с выделяющимися вредными веществами, изучение условий их образования и надежной локализации путем создания местных отсосов, встроенных в технологическое оборудование, и использования экономичных систем общеобменной вентиляции.

Локализация вредных веществ при сварке на современном этапе — задача не простая и решить ее можно, объединив усилия заводов и институтов.

Применение встроенных отсосов в сочетании с эффективной общеобменной вентиляцией может обеспечить требуемый гигиенический эффект и хорошие условия для работы сварщиков, сборщиков, газорезчиков. Поэтому большое внимание в настоящей книге уделяется вопросам расчета, конструирования и эксплуатации местных отсосов при различных видах сварочных работ и тепловой резке листового проката. Создание таких отсосов становится все более актуальным, ибо помимо улучшения условий труда они позволяют резко снизить энергозатраты на вентиляцию.

Повсеместное внедрение местных отсосов в сварочных и заготовительных цехах может стать эффективным средством повышения производительности труда в этих производствах путем оптимизации технологических режимов и механизации сварочных процессов. Значительное оздоровление условий труда, улучшение вопросов организации и культуры работы сварщиков, газорезчиков должно стать важным звеном повышения эффективности этих производств.

Отзывы и пожелания по содержанию книги просьба направлять по адресу: 107076, Москва, Стромынский пер., д. 4, издательство «Машиностроение».

I. САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДАХ СВАРКИ И ТЕПЛОВОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ

1. ВРЕДНЫЕ ВЕЩЕСТВА, СОПРОВОЖДАЮЩИЕ ПРОЦЕСС СВАРКИ

Как известно, сварочные процессы отличаются интенсивными тепловыделениями (лучистыми и конвективными), пылевыделениями, приводящими к большой запыленности производственных помещений токсичной мелкодисперсной пылью, и газовыделениями, действующими отрицательно на организм работающих. Некоторые процессы, например, плазменно-дуговая резка, сопровождаются, кроме того, интенсивным шумом, также создающим неблагоприятные условия труда.

Высокая температура сварочной дуги способствует интенсивному окислению и испарению металла, флюса, защитного газа, легирующих элементов. Окисляясь кислородом воздуха, эти пары образуют мелкодисперсную пыль, а возникающие при сварке и тепловой резке конвективные потоки уносят газы и пыль вверх, приводя к большой запыленности и загазованности производственных помещений. Сварочная пыль — мелкодисперсная, скорость витания ее частиц — не более 0,08 м/с, оседает она незначительно, поэтому распределение ее по высоте помещения в большинстве случаев равномерно, что чрезвычайно затрудняет борьбу с ней.

Основными компонентами пыли при сварке и резке сталей являются окислы железа, марганца и кремния (около 41, 18 и 6% соответственно). В пыли могут содержаться другие соединения легирующих элементов. Токсичные включения, входящие в состав сварочного аэрозоля, и вредные газы при их попадании в организм человека через дыхательные пути могут оказывать на него неблагоприятное воздействие и вызывать ряд профзаболеваний. Мелкие частицы пыли (от 2 до 5 мкм), проникающие глубоко в дыхательные пути, представляют наибольшую опасность для здоровья, пылинки размером до 10 мкм и более задерживаются в бронхах, также вызывая их заболевания.

К наиболее вредным пылевым выделениям относятся окислы марганца, вызывающие органические заболевания нервной системы, легких, печени и крови; соединения кремния, вызывающие в результате вдыхания их силикоз; соединения хрома, способные накапливаться в организме, вызывая головные боли, заболевания пищеварительных органов, малокровие; окись титана, вызывающая заболевания легких. Кроме того, на организм неблагоприятно

воздействуют соединения алюминия, вольфрама, железа, ванадия, цинка, меди, никеля и других элементов.

Биологические свойства электросварочной пыли полно и хорошо описаны в работе К. В. Мигая [17], в которой анализируются три основных гигиенических показателя вредности пыли: растворимость, задержка при дыхании легочной тканью и фагоцитоз. Многие из исследований (например, растворимость электросварочной пыли в организме) представляют большую практическую ценность при оценке агрессивности сварочного аэрозоля.

Вредные *газообразные* вещества, попадая в организм через дыхательные пути и пищеварительный тракт, вызывают иногда тяжелые поражения всего организма. К наиболее вредным газам, выделяющимся при сварке и резке, относятся окислы азота (особенно двуокись азота), вызывающие заболевания легких и органов кровообращения; окись углерода (удушающий газ) — бесцветный газ, имеет кисловатый вкус и запах; будучи тяжелее воздуха в 1,5 раза, уходит вниз из зоны дыхания, однако, накапливаясь в помещении, вытесняет кислород и при концентрации свыше 1 % приводит к раздражению дыхательных путей, вызывает потерю сознания, одышку, судороги и поражение нервной системы; озон, запах которого в в больших концентрациях напоминает запах хлора, образуется при сварке в инертных газах, быстро вызывает раздражение глаз, сухость во рту и боли в груди; фтористый водород — бесцветный газ с резким запахом, действует на дыхательные пути и даже в небольших концентрациях вызывает раздражение слизистых оболочек.

При сварке в среде защитных газов торированными вольфрамовыми электродами марок ВТ-10, ВТ-15 в воздух выделяются окислы тория и продукты его распада, которые представляют радиационную опасность.

Подробные сведения о вредных воздействиях на организм разных элементов и соединений приведены в специальной литературе.

Помимо аэрозолей и газов неблагоприятное влияние на работающих в сварочных производствах оказывает еще ряд явлений, не устраняющихся с помощью вентиляции, но в совокупности с вредными веществами ухудшающих условия труда. Это — лучистая энергия сварочной дуги, ультрафиолетовая и инфракрасная радиация, вызывающие ожоги открытых частей тела и иногда (особенно летом) перегрев организма; шум, который в сочетании с ультразвуковыми колебаниями вызывает стойкое понижение слуха у работающих. Помимо шумов, создаваемых сваркой, большим шумом сопровождаются заготовительные операции (рихтовка, правка, сборка) и особенно плазменно-дуговая резка. Создают шум и плохо сбалансированные вентиляционные установки (или смонтированные без виброоснований).

Как видно, причин профессиональных заболеваний сварщиков, газорезчиков и других работников сварочных производств много. Гигиенические особенности основных видов сварки и резки описаны

в п. 3, знание их способствует успешной борьбе за создание благоприятных условий труда, требуемой чистоты воздуха в рабочей зоне путем разработки рациональных и эффективных систем местной и общеобменной вентиляции, применения средств индивидуальной защиты глаз, рук и т. д. Практика показывает, что вентиляция в совокупности с комплексом мероприятий технологического и организационного характера позволяет снизить концентрации вредных веществ до предельно допустимых и способствует значительному оздоровлению условий труда работающих в сварочных цехах. Эти вопросы неоднократно освещались в работах Московского, Ленинградского институтов охраны труда ВЦСПС [3, 5, 7, 9, 17, 19] и других научно-исследовательских институтов.

2. ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ

Последствия воздействия на человеческий организм вредных веществ, выделяющихся при сварочных процессах, еще, к сожалению, полностью не изучены, хотя совершенно очевидно, что они оказывают на здоровье рабочих в сварочных производствах (и в первую очередь самих сварщиков) вредное влияние. Поэтому необходимо, чтобы концентрация этих веществ в воздухе производственных помещений была по возможности минимальной.

Во всех развитых странах санитарными службами введены инструкции, определяющие предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ при сварке в воздухе рабочей зоны производственных помещений. Это такие концентрации, которые при ежедневной работе не вызывают у работающих профзаболеваний. В СССР их величина регламентирована специальными санитарными нормами [23].

В ФРГ к числу таких документов относится инструкция VDI-2084 «Вентиляция сварочных помещений и сварочных постов». В ней приведены данные о максимальных концентрациях вредных газов и аэрозолей около рабочего места сварщика (на уровне дыхания), которые не вредны для здоровья при восьмичасовом рабочем дне. Такие же инструкции есть в Англии, США, во Франции, в Голландии, Швеции и других странах. В этих странах общая концентрация пыли 10 мг/м^3 считается допустимой. Такие же нормы предусмотрены в документах Международного института сварки (МИС).

Следует отметить, что санитарные нормы Советского Союза и ряда социалистических стран (ГДР, ЧССР) являются более жесткими, допуская меньшие концентрации вредных веществ в воздухе производственных помещений, чем нормы многих капиталистических стран. К тому же в целях улучшения условий труда ПДК в СССР постоянно снижаются. Например, предельно допустимая концентрация сварочного аэрозоля при сварке низколегированных сталей, принятая в СССР в соответствии с СН 245 — 71, составляет

Таблица 1

Предельно допустимые концентрации некоторых вредных веществ при сварке, принятые в разных странах

Вредные вещества	ПДК, мг/м³			
	СССР	Англия	США	ФРГ
Озон	0,1	0,1	0,2	0,2
Двуокись азота	5,0	5,0	9,0	9,0
Окись углерода	20,0	50,0	55,0	55,0
Фтор	1,0	2,5	—	2,0
Окись железа	6,0	10,0	10,0	8,0
Никель	0,5	1,0	1,0	1,0
Окись цинка	6,0	5,0	5,0	5,0

4 мг/м³. Кроме того, если в СССР и социалистических странах ПДК имеют юридическую силу, то в капиталистических странах они носят, как правило, рекомендательный характер. ПДК, принятые в сварочных цехах разных стран, приведены в табл. 1.

Можно привести для сравнения еще такие цифры. Во Франции допускаемая концентрация пыли для сварки электродами с основным покрытием составляет 10 мг/м³, для всех других электродов — 20 мг/м³. В ЧССР предельно допустимые концентрации пыли для основных электродов 5 мг/м³, кислых — 10 мг/м³. Полный перечень предельно допустимых концентраций вредных веществ, выделяющихся при сварке и принятых в СССР, приведен в приложении.

Для того чтобы своевременно воздействовать на воздушную среду цеха, нужно постоянно знать ее состояние. Определение концентраций отдельных компонентов сварочного аэрозоля и вредных газов в составе воздушной среды цеха, на рабочих местах производится с помощью специальных приборов. Величина валового количества вредных выделений позволяет дать сравнительную гигиеническую оценку конкретного сварочного процесса или применяемых сварочных материалов, которые необходимы для проектирования местной или общеобменной вентиляции.

Установки для определения валового выделения пыли и газов созданы ведущими научно-исследовательскими институтами охраны труда — московским ВЦНИИОТом (стационарная установка) и ленинградским ВНИИОТом (передвижная разборная установка).

Для быстрого определения концентраций паров и газов во ВНИИОТе созданы универсальные газоанализаторы типа УГ-2. Практически с их помощью можно определить концентрации всех основных газов, выделяющихся при электросварке: окиси углерода, углекислого газа, окислов азота, окиси и двуокиси азота, фтористого водорода и др. Прибор определяет наличие и концентрацию паров и газов при любом содержании в воздухе кислорода, азота, водорода, инертных газов при температуре среды от 10 до 30° С, давлении

от 987 до 1040 ГПа и концентрации пыли не более 40 мг/м³. Длительность анализа 2—10 мин.

Необходимость дальнейшего совершенствования методов и приборов для систематического контроля концентрации аэрозолей и газов в производственных цехах вызвана требованиями повышения точности проведения измерений и расширения количества определяемых веществ. Отсутствие таких приборов сдерживает применение автоматизированных методов поддержания заданных метеорологических условий в современных сварочных производствах.

3. ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ СВАРКИ И ТЕПЛОВОЙ РЕЗКИ

Как уже указывалось, в промышленности и строительстве применяется свыше 60 различных видов сварки, наплавки и тепловой резки. Эти процессы могут быть ручными, полуавтоматическими и автоматическими, производиться на механизированных линиях или конвейерах, в приспособлениях или на стапелях, на открытом воздухе или в помещении, на различных высотах и даже в космосе и под водой. Сварка и резка применяются во всех отраслях народного хозяйства при различных ремонтных работах и в полевых условиях (сварка трубопроводов). В отношении гигиены труда процессы сварки неодинаковы, все зависит от метода сварки, применяемых режимов и сварочных материалов, условий и характера производства. В книге в основном рассмотрены условия работы при сварке в промышленности. В то же время следует отметить, что все методы сварки и тепловой резки обязательно требуют надлежащих мер защиты здоровья работающих.

При гигиенической оценке различных сварочных процессов в качестве основного критерия большинство исследователей принимает величину валовых выделений, т. е. количество вредных веществ в граммах, выделяющихся при сгорании 1 кг материалов (проволоки, флюса и т. п.).

Анализ современных сварочных производств в машиностроении показывает, что в настоящее время в крупных специализированных цехах по производству сварных конструкций применяется преимущественно полуавтоматическая сварка в среде углекислого газа, составляющая примерно 65 — 70% сварочных работ, до 10% работ выполняется ручной сваркой с помощью электродов, примерно 15—20% составляет сварка под слоем флюса, другие виды сварки занимают примерно 5% (приведенные данные могут несколько изменяться в зависимости от специфики производства, его оснащенности, серийности и прочих факторов). В других отраслях народного хозяйства превалирует ручная сварка. Большое распространение получила в заготовительных производствах тепловая резка стального и цветного проката: кислородная (ацетиленовая или с применением природных газов) и плазменно-дуговая.

Эти процессы сопровождаются большой запыленностью и загазованностью помещений, а плазменная резка, помимо этого, — большим шумом и сильным ультрафиолетовым излучением. Объемы применения ручной и механизированной тепловой резки возрастают с каждым годом, причем если плазменно-дуговая резка занимает сейчас не более 5%, а кислородная 95%, то можно предположить, что в ближайшие годы это соотношение изменится и будет составлять соответственно 30% и 70%. Новые виды тепловой резки, такие, как газолазерная и резка электронным лучом практически в промышленности мало применяются и их гигиенические особенности еще не исследованы.

В зарубежной и отечественной литературе последних лет указывается, что степень вредности различных методов сварки возрастает в таком порядке: газовая сварка, дуговая сварка, сварка вольфрамовым электродом в инертном газе, плазменно-дуговая резка, сварка, наплавка. Поэтому оздоровлению условий труда при плазменной обработке металлов должно уделяться серьезное внимание.

Ручная сварка является в гигиеническом отношении наиболее вредным процессом, даже при использовании рутиловых электродов[1] в зоне дыхания сварщиков при отсутствии вентиляционных устройств всегда содержатся значительные количества вредных веществ. Установлено, что условия труда намного лучше при полуавтоматической сварке в углекислом газе (или смеси углекислого газа с кислородом), отличающейся, кроме того, высокой производительностью. Однако вследствие высокой интенсивности ведения сварочных работ при полуавтоматической сварке сталей в среде CO_2 концентрация сварочного аэрозоля в рабочей зоне иногда превышает предельно допустимую. Кроме того, большие выделения окиси углерода и озона требуют серьезных мер по локализации вредных веществ.

Рассмотрим гигиенические особенности наиболее распространенных в промышленности механизированных видов сварки и газовой резки.

Электродуговая автоматическая и полуавтоматическая сварка и наплавка под флюсом. Сварка широко распространена в машиностроении благодаря хорошему качеству сварного шва, высокой производительности, отсутствию вредного излучения дуги. Сварочная дуга защищена слоем флюса и расплавленного шлака, флюс предотвращает разбрызгивание металла, при этом устраняется влияние лучистых выделений дуги на глаза рабочего и предотвращается опасность ожогов брызгами. Сварка под флюсом производится голой проволокой, что уменьшает выделение вредных веществ,

[1] Рутиловые электроды АНО-1, АНО-3, АНО-4, АНО-5, АНО-6, разработанные в Институте электросварки им. Е. О. Патона, не содержат плавикового шпата в покрытиях и при их использовании не выделяют фтористые соединения.

обычно содержащихся в покрытых электродах. При автоматической наплавке флюс препятствует интенсивному выгоранию легирующих элементов, однако в воздух попадают токсичные соединения марганца, хрома, титана, вольфрама, кобальта и др. Валовые выделения вредных веществ приведены в приложении 3. Выделение пыли при самой сварке небольшое. Наибольшие концентрации ее (до 8 мг/м³) наблюдаются на расстоянии 200 мм от дуги. В состав сварочного аэрозоля при сварке малоуглеродистых и низколегированных сталей входят окислы железа (до 80%) , марганца (до 12%) и двуокись кремния (8%). Концентрация окислов марганца (в пересчете на марганец) — 0,4 мг/м³, окиси кремния — до 1,6 мг/м³. Запыленность в зоне дыхания при нормальном течении процесса и достаточной квалификации сварщика не превышает ПДК. Однако отсос и сбор флюса, пересыпка для повторного его использования являются дополнительными источниками пылевыделения. Концентрация пыли в зоне дыхания сварщика во время сбора флюса составляет в среднем 30 мг/м³, что превышает ПДК.

Установлено, что при повторном использовании флюса запыленность воздушной среды выше в 2 раза, чем при сварке под свежим флюсом. При повторном применении флюса иногда наблюдается прорыв газов и пыли в месте дуги, что увеличивает в несколько раз количество выделяющихся вредных веществ. Кроме того, следует иметь в виду общий для всех видов сварки фактор увеличения выделений пыли при интенсификации процесса (работа на больших силах тока) за счет уноса мелкодисперсных частиц конвективными потоками.

Для борьбы с пылеобразованием при сборе флюса сейчас успешно применяют пневматический эжекторный флюсосборник ФСП, снабженный фильтром. Из выделяющихся при этом виде сварки вредных газов наиболее опасны окись углерода и фтористые соединения — фтористый водород и фтористый кремний. Концентрация окиси углерода при применении керамических флюсов (без вентиляции) доходит до 400 мг/м³ [25], фтористого водорода — до 1,7 мг/м³. Наибольшее количество фтористых соединений выделяется при сварке под флюсами ОСЦ-45 (до 360 мг/кг) и АН-348А (до 160 мг/кг), а наименьшее — при использовании флюсов ФЦ-9 (до 65 мг/кг) и АН-51, АН-10 (до 85 мг/кг). Кроме того, на выделение соединений фтора существенно влияют технологические режимы (скорость сварки, диаметр электрода, сила тока и др.). Так, с увеличением скорости сварки количество выделяющихся фтористых соединений уменьшается, то же происходит и при увеличении диаметра электрода (электродной проволоки) [17]. Однако для коренного улучшения условий труда следует отказаться от применения флюсов, содержащих фтористые соединения, заменив их менее вредными.

Рекомендуется также применение керамических флюсов (например, К-2, К-2П, К-5, К-11, КС-12ГА2 и др.), содержащих значительно меньшее количество вредных веществ, чем плавленые

флюсы, хотя общая запыленность на рабочем месте может при этом увеличиться за счет меньшей механической прочности керамических флюсов.

К особенностям автоматической сварки под флюсом следует еще добавить, что рабочий, наблюдающий за процессом сварки на некотором расстоянии от дуги, в меньшей степени подвергается воздействию вредных веществ даже при отсутствии местного отсоса.

Электросварка автоматическая и полуавтоматическая в среде защитных газов (углекислый газ, смесь углекислого газа и кислорода, аргон). Данный вид сварки отличается тем, что при ее применении дуга и зона плавления защищены от влияния кислорода и азота воздуха струей газа, не взаимодействующего с расплавленным металлом и вытесняющего воздух из зоны горения, что препятствует окислению и азотированию металла шва, а также испарению легирующих элементов. Сварка с применением углекислого газа и специальных полуавтоматов наиболее распространена в промышленности и на отдельных заводах составляет 70% и более общего объема сварочных работ. Она отличается производительностью, в 2—3 раза превышающей производительность ручной сварки.

Высокая производительность обеспечивается тепловой мощностью сварочной дуги, позволяющей применять большие скорости сварки. Сварной шов имеет хорошие механические свойства и внешний вид. Стоимость сварки в углекислом газе в 2 раза меньше стоимости ручной сварки. В то же время условия труда при полуавтоматической сварке плавящимся электродом (проволокой электродной или порошковой) в среде защитных газов, особенно CO_2 или $CO_2 + O_2$, весьма неблагоприятны. Хотя углекислый газ препятствует образованию вредных окислов, сам он является источником образования вредных веществ.

Основными вредными веществами, выделяющимися при сварке в CO_2, являются образующееся при высокой температуре в зоне дуги повышенное количество окиси углерода, значительное выделение пыли. Все виды сварки в защитных газах сопровождаются образованием озона O_3, а также интенсивной ультрафиолетовой радиацией (температура сварочной дуги достигает 6500К). Валовые выделения пыли и газов зависят от марки сварочной проволоки, свариваемых материалов и режимов сварки. При высокой интенсификации процесса эти показатели увеличиваются. Так, например, при полуавтоматической сварке в среде CO_2 проволокой СВ 08Г2С диаметром 2 мм при силе тока 450 А, средней скорости 25 м/ч валовые выделения сварочного аэрозоля достигают 100 г/ч, а концентрация пыли в зоне дыхания сварщика достигает 90 мг/м^3. Концентрация окиси углерода превышает допустимую по санитарным нормам в несколько раз. Пыль высокодисперсна, на 1 кг сварочной проволоки выделение ее составляет 8—15 г [17], окислов марганца — 0,2—0,8 г.

Более благоприятной с гигиенической точки зрения является сварка под защитой газов неплавящимися электродами: образуется

сравнительно малое количество пыли. Тем не менее при сварке в среде аргона неплавящимся вольфрамовым электродом нержавеющих сталей образуется количество озона, превышающее допустимые концентрации в 10 раз и более.

При сварке в защитных газах оцинкованных сталей происходит образование цинковых паров и окислов, вызывающих у сварщиков временное недомогание (цинковый озноб), продолжающийся до 24 ч. Это состояние не оставляет вредных последствий, так как попавший в организм цинк мало токсичен. Однако увеличенное содержание в воздухе помещения пыли и окиси углерода нежелательно. Минимальное количество окиси цинка, пыли и газов выделяется при сварке деталей, покрытых антикоррозионным слоем толщиной не более 20 мкм.

Применяемые при полуавтоматической сварке и наплавке в среде CO_2 всевозможные защитные покрытия на деталях также вызывают увеличение концентрации вредных веществ в зоне дыхания. Проведенные исследования [30] показали, что применение большинства покрытий наносимых на детали для защиты поверхностей, приводит к превышению ПДК вредных примесей. Лишь покрытие КБЖ и эмульсия не ухудшают картину по сравнению со сваркой без покрытия. Несмотря на то, что полуавтоматическая сварка в среде CO_2 высокопроизводительна, с гигиенической точки зрения она вредна. Поэтому применять ее нужно там, где другие методы сварки неприемлемы или можно применить надлежащие способы надежной локализации вредных веществ.

Электросварка порошковой проволокой. Полуавтоматическая и автоматическая сварка порошковой проволокой — один из сравнительно новых производительных способов сварки, еще мало распространенный в промышленности, однако весьма перспективный при сварке сталей. Порошковая проволока изготовляется из металлической ленты, которая сгибается в трубку, одновременно заполняемую шихтой, содержащей рутиловый концентрат, железный порошок, ферромарганец, ферросилиций, плавиковый шпат. Процесс изготовления порошковой проволоки, разработанный в Институте электросварки им. Е. О. Патона, полностью механизирован.

С гигиенической точки зрения этот процесс приближается к сварке рутиловыми электродами, однако исследований, достаточных для полной гигиенической оценки этого вида сварки, еще недостаточно. В работах Е. И. Воронцовой, И. Т. Брахновой и др. приводятся валовые выделения пыли и газа, а также результаты замеров концентраций вредных веществ в зоне дыхания. Валовое количество выделяющихся вредных веществ на 1 кг сжигаемой проволоки марок ПП-АН-2, ПП-АН-3, ПП-АН-4, ПП-106 и ПП-108, ПП-1ДСК составляет: 8—12 г пыли, 0,2—0,7 г окислов марганца, 0,1—0,7 г окислов титана, 3,8—10 г окислов железа, 0,2—1,0 г фтористых соединений, около 0,8 г окислов азота. Концентрация пыли в зоне дыхания сварщика составляла 10—30 мг/м^3, а окислов марганца — до 1 мг/м^3.

С гигиенической точки зрения наболее благоприятные условия создаются при использовании порошковой проволоки ПП-ДСК, не содержащей плавиковый шпат, при этом в выделяющихся вредных веществах отсутствуют соединения фтора. Исследованиями [18] установлено взаимное влияние фтора и марганца на токсичность сварочных аэрозолей, выделяющихся при сварке порошковыми проволоками: фтор и марганец в сочетании друг с другом оказывают разное токсическое действие. Так, повышенное содержание фтора всегда ведет к увеличению токсичности пыли, а увеличение содержания марганца сначала понижает токсичное действие фторосодержащей пыли, а затем токсичность пыли увеличивается. В работе приводятся зависимости, позволяющие заранее определять токсичность аэрозолей в зависимости от содержания фторов и марганца в порошковой проволоке.

Электрошлаковая сварка (ЭШС). Это — прогрессивный и высокопроизводительный способ автоматической сварки металлов больших, практически неограниченных толщин, без предварительной разделки кромок (в один проход). Объемы применения ее по сравнению с другими видами сварки пока незначительны. Тепло, выделяющееся в жидкой шлаковой ванне при прохождении сварочного тока, расплавляет кромки свариваемых деталей и присадочного электрода, жидкая металлическая ванна и находящийся над ней шлак поднимаются вверх, а затвердевающий в нижней части металл образует сварочный шов.Этим способом сваривают стали различных марок и классов, жаропрочные никелевые сплавы, титан, медь, алюминий и их сплавы. Используют его для наплавки, а также в основном для облицовки черных металлов нержавеющими или цветными. Благодаря тому, что шлаковая ванна защищает расплавленный металл от окисления, с гигиенической точки зрения этот метод аналогичен сварке под слоем флюса. Кроме того, этот вид сварки удобен тем, что рабочий не находится постоянно в зоне вредных выделений. Следует лишь остерегаться сильных тепловых излучений. Пылеобразование увеличивается, если свариваемые детали сильно загрязнены или покрыты ржавчиной. Обычно удаление пыли и газов может осуществляться с помощью общеобменной вентиляции. В случае применения флюса с фтористыми соединениями (например, АНФ-6) выделения фтористого водорода (иногда фтористого кремния) следует локализовать у места их образования.

Контактная электросварка (в том числе стыковая, точечная и шовная). Этим способом сваривают стальные, нержавеющие и цветные металлы и их сплавы. Металл нагревается до пластического состояния пропусканием электрического тока большой силы через свариваемые кромки, что обеспечивает выделение тепла в месте контакта. После нагрева места соединения сдавливают значительным усилием. Кратковременность разогрева исключает окисление соединяемых мест, однако процессы сопровождаются искрообразованием и выбрасыванием брызг (при стыковой сварке). При точеч-

ной и шовной сварке хорошо очищенных стальных деталей в окружающее пространство выделяется и значительное количество вредных паров и газов, при правильно подобранном режиме нет опасности загрязнения воздуха мелкодисперсной пылью. Однако при контактной сварке деталей, покрытых ржавчиной, загрязненных маслом или эмульсией либо деталей с антикоррозионными покрытиями и деталей из цветных металлов образуется значительное количество пыли, которое увеличивается с увеличением мощности сварочных машин. Поэтому сведения о полной безвредности контактной сварки ошибочны.

Наиболее вредной является стыковая сварка оплавлением или сопротивлением. Помимо шума и возникающего магнитного поля, влияние которого на здоровье работающих еще недостаточно изучено, процесс сопровождается выделением брызг расплавленного металла, искр, пыли и газов, содержащих различные вредные вещества. При стыковой сварке стальных деталей без местной вентиляции концентрация пыли в зоне дыхания составляет в среднем 7 мг/м³ [17], а при сварке цветных металлов — 16 мг/м³. В некоторых исследованиях [7] приводятся данные замеров при работе на машинах МСГА-300 (при работе с вентиляцией концентрация пыли не более 1,2 мг/м³) и МСМУ-150 (при работе без вентиляции концентрация пыли 41,7 мг/м³), указывающие на необходимость создания местных отсосов для этого вида сварки. Кроме того, разлетающиеся на расстояние до 2 м брызги и искры, вызывающие иногда ожоги, поток лучистой энергии и ультрафиолетовая радиация вместе с ионизацией воздуха, магнитным полем и шумом делает этот вид сварки не безопасным и требующим серьезных мероприятий по оздоровлению труда. Правда, на стыковых машинах большой мощности сварщик, располагаясь на некотором удалении от места сварки, менее подвержен воздействию вредных веществ и магнитного поля, напряженность которого на расстоянии 1—2 м постепенно затухает и становится неопасной. При точечной сварке на машинах МТП-75, МТП-100 и МТПП-75 валовые выделения пыли составляют 3,5—5,0 г/ч, концентрация аэрозоля в зоне дыхания достигает 8 мг/м³. Химический состав пыли повторяет состав элементов свариваемых металлов.

Рассмотрим в заключение гигиенические условия труда при некоторых новых видах сварки, менее распространенных в машиностроении, однако весьма перспективных. Это — сварка трением, электронно-лучевая сварка (ЭЛС), гравитационная сварка, лазерная сварка, а также плазменная сварка [1] и наплавка.

Сварка трением. Сварка трением широко применяется в промышленности для соединения цилиндрических заготовок. В будущем этот метод сварки найдет большое применение в автотракторостроении, электромашиностроении и инструментальной промыш-

[1] Гигиенические условия при плазменной сварке и наплавке рассматриваются ниже в п. «Тепловая резка металлов».

ленности. На выпускаемых в СССР машинах сваркой трением соединяются заготовки круглого сечения диаметром до 100 мм. Сварное соединение образуется в твердой фазе без расплавления металла свариваемых деталей. Температура в стыке достигает 1000—1300° С (для черных металлов), вызывает быстрый локальный нагрев тонкого поверхностного слоя металла на торцах трущихся поверхностей. Процесс высокопроизводительный, обеспечивает высокое и стабильное качество сварного соединения. Важное свойство сварки трением, выгодно отличающее ее от других методов — гигиеничность процесса. Отсутствует ультрафиолетовое излучение, нет вредных выделений пыли и газов, нет горячих брызг металла. Сварка выполняется на специальных полуавтоматических машинах, работа протекает без участия человека.

Гигиеничностью отличаются также и процессы диффузионной и ультразвуковой сварки, применяемые в микроэлектронике.

Электронно-лучевая сварка. Это высокопроизводительный процесс сварки сталей больших толщин с получением высокого качества шва. Основой его является термоэмиссия, дающая возможность создания направленного потока электронов в вакууме, кинетическая энергия которых при столкновении с твердым материалом превращается в тепло, выделяемое в материале. Применяется процесс для сварки крупногабаритных деталей на сверхмощных и безвакуумных установках (электронных пушках) с высококонцентрированными источниками тепла, позволяющими применять большие скорости сварки. Процесс ЭЛС — автоматизированный, с применением ЭВМ. Рабочий непосредственно вблизи зоны сварки не находится, поэтому благоприятные условия достигаются при наличии общеобменной вентиляции в помещении ЭЛС.

Лазерная сварка. Все большее распространение как за рубежом, так и в СССР находит лазерная сварка и резка, основанные на возможности получения с помощью квантовых генераторов оптического диапазона (рубиновых) интенсивных и направленных пучков света и концентрирования энергии на очень малых площадях. Излучение лазера характеризуется высокой плотностью мощности в пятне нагрева. Мощность лазеров непрерывного действия, по сообщениям печати, достигает десятков и сотен киловатт, что позволяет сваривать швы в металле толщиной до 50 мм, и осуществлять резку металла небольших толщин (не более 10 мм). Распространению лазерной сварки и резки препятствует очень низкий КПД квантовых генераторов — всего 0,1%.

Гигиенически процесс протекает неудовлетворительно, хотя количество вредных выделений незначительно. Влияние других факторов еще мало изучено. Известно, что лазерное излучение оказывает на организм неблагоприятное воздействие, особенно на органы зрения, кожу, нервную систему. Учитывая опасность, которую представляет для организма возникновение ультразвуковых колебаний, электрических зарядов высокого потенциала, а также возможность генерации рентгеновского излучения и образования ча-

стиц высокой энергии, проникающих глубоко в организм, следует рекомендовать максимальную автоматизацию процессов лазерной обработки, исключающую участие человека.

Гравитационная сварка (или сварка опирающимся электродом). Сварка распространена незначительно, например, в судостроении при сварке полотнищ. При сварке труднодоступных мест применяется сварка лежачим электродом. Ее преимущество заключается в том, что благодаря несложной механизации процесс становится легко управляемым, один рабочий обслуживает сразу несколько установок. Сильное световое излучение дуги при зажигании электродов неблагоприятно воздействует на сварщика и работающих рядом. Автоматизация как процесса зажигания дуги (от пульта управления), так и всего процесса гравитационной сварки позволяет вывести сварщика из зоны светового излучения и вредных пылевых выделений. Это значительно улучшает санитарно-гигиенические условия работы и делает данный вид сварки благоприятным в гигиеническом отношении.

Таким образом, для применения новых видов сварки необходимо их детальное изучение с разработкой мероприятий, предупреждающих вредное воздействие отдельных факторов на рабочих.

Тепловая резка металлов. По принятой Международным институтом сварки (МИС) терминологии под названием «тепловая резка» объединены все виды кислородной плазменной, электродуговой резки металлов, а также новые виды сварки, такие, как газолазерная и резка электронным лучом.

Наиболее распространена ацетилено-кислородная разделительная резка, при которой металл подогревается пламенем, образуемым при сгорании в кислороде горючего газа. Когда температура металла достигает точки воспламенения, подается струя «режущего» кислорода, которая быстро окисляет и выдувает жидкий металл из зоны реза. В качестве горючих газов применяют и более дешевые сжиженные газы-заменители и природный газ. Кислородно-ацетиленовая резка сопровождается разложением ацетилена на углерод и водород, в результате окислительных процессов образуется окись углерода, которая является весьма неустойчивой. После воспламенения смеси начинается интенсивное окисление окиси углерода, в результате чего образуется углекислый газ. Ацетилен сам по себе мало токсичен, но технический ацетилен всегда содержит примеси (сернистый водород, аммиак), увеличивающие его ядовитость. Кроме того, основной примесью кислорода является азот и образующиеся азотистые газы. Наибольшее количество окиси углерода выделяется в начальной стадии резки, когда происходит настройка резаков или общая наладка машины перед пуском ее в автоматический режим. Рабочий в это время находится в зоне резаков, где появляется большое количество вредных веществ. Происходящая утечка кислорода приводит к избыточной его концентрации, вызывая раздражение слизистых оболочек дыхательных путей, а также создает повышенную пожароопасность.

В последнее время внедряется новый метод так называемой **плазменно-дуговой резки,** которым можно практически обрабатывать все металлы, но особенно эффективно — легированные и нержавеющие стали, цветные металлы и сплавы. Разделительная плазменная резка состоит в сквозном проплавлении металла мощным дуговым разрядом. Дуга, возбуждаемая между разрезаемым металлом и неплавящимся (чаще всего вольфрамовым) электродом, представляет собой высокоскоростной газовый поток. Режущим инструментом является струя высокотемпературной (10 000—50 000° С) плазмы, которая образуется при принудительном продувании рабочего газа (аргон, азот, кислород, воздух) через сопло плазмотрона. Газ сжимает (стабилизирует) дугу, нагревается, превращаясь в ионизированный поток плазмы, которая отличается большим проплавляющим действием. Как кислородная, так и плазменная резка выполняется на современных фотокопировальных машинах и машинах с цифровым программным управлением, на механизированных линиях, делающих эти процессы высокопроизводительными.

Применение плазменно-дуговой резки требует специальных мер для создания благоприятных условий труда. Это вызвано тем, что для устойчивой работы электродов (вольфрамовых, гафниевых, циркониевых и др.) их стабилизируют присадками из металлов редкоземельной группы (например, вольфрам лантанированный), пары которых оказывают отрицательное влияние на организм человека. Кроме того, плазменно-дуговая резка применяется большей частью для легированных и цветных металлов и сплавов, пары которых сильно насыщены различными вредными веществами, а влияние на организм многих из них еще полностью не изучено.

Валовое выделение пыли при интенсивной работе одной машины типа ЮГ (раскрой листовой низкоуглеродистой стали толщиной от 12 до 40 мм) достигает 2 кг/ч и при отсутствии местного отсоса содержание пыли в рабочей зоне достигает 2000 мг/м^3. Большим недостатком этого процесса является шум, уровень которого достигает 120 дБ, что в сочетании с ультразвуковыми колебаниями частотой 50—4000 Гц требует разработки специальных мероприятий по защите органов слуха работающих. Особенно неблагоприятным является сильное излучение (ультрафиолетовое, световое и инфракрасное), сопровождающее плазменную резку и другие виды плазменной обработки металлов (напыление, наплавку, сварку, плазменно-механическую обработку).

По данным А. В. Ильницкой [9], наиболее полно исследовавшей процессы плазменной обработки металлов, доминирующими вредными веществами, выделяющимися в окружающую среду, являются окислы азота и озон, концентрации которых превышают ПДК в 10 раз. Проблема коренного оздоровления условий труда может быть решена только автоматизацией процесса, что исключит пребывание рабочих в зоне совокупного действия вредных факторов. А пока при плазменно-дуговой обработке обязательным является

устройство надежной местной вентиляции и применение средств индивидуальной защиты органов слуха и глаз.

4. ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В последнее время тенденция к снижению металлоемкости сварных конструкций и получению новых сверхпрочных марок сталей за счет легирования все возрастает. Элементы, вводимые в сталь для ее упрочнения (Ti, Nb, V, C, Mn, Si, Cr, Ni), обладают большой токсичностью. Во многих странах и в СССР применяют легированные стали с повышенным содержанием марганца (до 1,5%), ниобия и ванадия. Эти стали обладают хорошей свариваемостью, поэтому они будут внедряться и дальше. В связи с этим возникает необходимость изучения новых вредных веществ, влияние которых на организм человека еще не исследовалось. Известно, что при сварке химический состав пыли зависит главным образом от состава электрода и флюса и в меньшей степени от свариваемых сталей. При тепловой резке количество пыли и ее состав полностью зависят от химического состава металла [17]. Необходима разработка системы оценки как применяемых, так и новых сварочных материалов.

Исследования вредных веществ, выделяемых при сварке покрытыми электродами, проводятся не только с целью изыскания электродных покрытий с минимальным количеством вредных веществ, но и для оценки уже выпускаемых и вновь разрабатываемых электродов по уровню токсичности и по необходимому количеству вентиляционного воздуха для разбавления вредных выделений до ПДК. Некоторые работы в этой области представляют особый интерес. Британские исследователи предлагают проведение экспериментов, моделирующих сварочный процесс. Измеряется количество выделяющихся газов и аэрозолей, динамика их выделений, затем проводится классификация путем разбивки на различные группы по степени токсичности. Группа с самой большой токсичностью принимается в качестве основы для маркировки. При маркировке сварочных электродов указывается степень его токсичности, связанная с количеством и скоростью выделения вредных веществ. Шведская система предусматривает, кроме того, определение необходимого количества воздуха для разбавления вредных веществ до допустимых концентраций (и соответствующую маркировку электродов).

В СССР такие работы проводились ведущими институтами охраны труда ВЦСПС (Московским и Ленинградским). В частности, большой вклад в этой области сделал К. В. Мигай (ЛИОТ) [17], который изучил почти все сварочные материалы, применяемые в судостроении, и дал их гигиеническую оценку, которая может быть использована в сварочных производствах всех отраслей машиностроения и строительства страны. В книге приведены лишь некоторые рекомендации многолетних исследований К. В. Мигая и других сотрудников для практического выбора сварочных материалов и оценки их токсичности.

Учитывая, что в связи с возрастанием общих объемов сварки в стране объемы ручной электродуговой сварки в ближайшие годы останутся еще значительными, мы остановимся на вопросах токсичности покрытых электродов, выпускаемых в СССР, их классификации по уровню токсичности и санитарно-гигиенической оценке процессов сварки с электродами, наиболее часто встречающихся в сварочном производстве.

В СССР выпускается около 200 марок электродов; токсичность их различная, зависит от многих факторов, в том числе от химического состава, диаметра, типа шва, режима сварки и т. д. В нашей стране конечной целью исследований токсичности электродов является их паспортизация по уровню и опасности вредных выделений, а также по расходу вентиляционного воздуха, необходимого для разбавления вредных выделений до ПДК. В паспорта внедряемых сварочных материалов должны вноситься также указания (рекомендации) по средствам индивидуальной защиты органов дыхания, зрения и слуха, по организации рабочих мест, режимам труда и отдыха.

В настоящее время для санитарно-гигиенической оценки электродов используются следующие показатели:

1) валовое выделение пыли, образующейся при сгорании определенной массы электродов, f_m, г/кг (или мг/кг);

2) общее количество пыли, образующейся при наплавке 1 кг металла, F_m, г/кг;

3) интенсивность выделения пыли при сгорании электродов во времени, f_t, г/мин (или мг/с);

4) количество воздуха, необходимое для разбавления вредных выделений до ПДК при наплавке 1 кг металла, L, м³/кг. При этом

$$L = 10\ F_m\ (A/a + B/b + C/c + \ldots), \qquad (1)$$

где A, B, C — содержание вредных веществ в пыли, %; a, b, c — ПДК этих веществ в воздухе, мг/м³;

5) расчетное количество воздуха, необходимое для поддержания концентраций вредных веществ в пределах, не превышающих ПДК при непрерывной сварке, S, м³/ч; в некоторых странах эту величину называют часовым воздухообменом:

$$S = 10\ F_t\ (A/a + B/b + C/c + \ldots), \qquad (2)$$

где F_t — интенсивность образования пыли, г/ч.

Анализируя вышеназванные показатели для оценки токсичности электродов, нетрудно понять, что показатели f_m, F_m, f_t позволяют сравнивать близкие по составу покрытий электроды между собой (т. е. электроды одной группы), а показатель L, учитывающий не только выделяемые объемы пыли, но и химический состав, — сопоставлять электроды с разными типами покрытий. Конечно, самым универсальным является показатель S, учитывающий и состав пыли, и интенсивность ее выделения во времени. Поэтому он содержит наибольший объем информации как для поставщиков,

Таблица 2

Классификация электродов ESAB [15]

Класс	Воздухообмен, м³/ч	Требования к вентиляции
I	Менее 2500	Не требует особой вентиляции
II	2500—5000	Требует хорошей вентиляции
III	5000—10 000	Требует мощной вентиляции или местного отсоса
IV	Больше 10 000	Требуется местный отсос

Таблица 3

Валовые выделения пыли и окислов марганца (по данным Киевского института гигиены труда и профзаболеваний)

Марка электрода	Диаметр электрода, мм	Сила тока, А	Выделение пыли, г/кг	Выделение окислов марганца, г/кг
ЦМ-6	6	300—320	48,7	4,3
ЦМ-УПУ	8	400—410	18,5	1,5
ОММ-5	4	210	9,0	1,65
СМ-5	4	210	11,4	2,18

так и для потребителей электродов. Поскольку S зависит от интенсивности выделения вредных веществ, т. е. в конечном счете от диаметра электрода и режима сварки, то электроды разного диаметра при классификации могут оказаться в разных санитарно-гигиенических классах. Это хорошо показано на рис. 1, приводимом здесь как пример из шведской системы гигиенической оценки электродов по показателю S. В табл. 2 дается примерная классификация электродов по требуемому расходу воздуха для растворения вредных выделений до ПДК (на 1 кг израсходованных электродов).

Электроды с руднокислым покрытием. Из используемых в промышленности электродов для дуговой сварки самыми токсичными являются марганцевые руднокислые электроды ЦМ-7, ЦМ-8, ОЗС-3, ОММ-5, содержащие в составе покрытия 20—30% ферромарганца. Выделение пыли и содержание в ней окислов марганца на 1 кг израсходованных электродов значительно превышает аналогичные показатели других электродов. Некоторые данные для этой группы электродов приведены в табл. 3 [15].

На основании приведенных данных рекомендуется рассмотреть вопрос об ограничении их применения и целесообразности дальнейшего выпуска.

Рутиловые электроды. Их производство во всех странах увеличивается и по объемам применения в машиностроении они занимают ведущее место в ручной электродуговой сварке. Благодаря меньшему содержанию ферромарганца и кремнезема в покрытии рутиловые электроды менее токсичны, чем электроды с руднокислым покрытием. Исследования [3] показали, что введение в покрытие большого количества железного порошка (до 60 весовых %) уменьшает в 1,5 раза общую интенсивность пылевыделения. На интенсивность выделения пыли и токсичность рутиловых электродов влияют

Таблица 4

Количество вредных выделений при расплавлении 1 кг электрода (в г/кг)

Марка электрода	Количество	
	пыли	окислов марганца
АНО-3	17,0	2,2
АНО-4	4,0	0,7
АНО-5	7,0	1,0

также и другие компоненты покрытия и режимы сварки. По данным Киевского института гигиены труда и профзаболеваний, количество выделяющейся пыли и окислов марганца при сгорании рутиловых электродов значительно ниже, чем при сгорании 1 кг руднокислых электродов (табл. 4).

Аналогичные данные получены и зарубежными фирмами, выпускающими рутиловые электроды: Phoenix Union (ФРГ), Oerlikon (Швейцария), ESAB (Швеция), Philips (Голландия) и др.

Электроды с фтористокальциевыми покрытиями. Этот вид электродов занимает сейчас доминирующее положение в передовых странах при ручной дуговой сварке. В Швеции на их долю приходится 60% общего выпуска, растет их производство в США, Японии, ГДР. В СССР выпуск электродов с фтористокальциевыми покрытиями составляет 15% общего выпуска электродов, однако перспективы роста их выпуска несомненны из-за ряда преимуществ при сварке низколегированных сталей больших толщин, при сварке вертикальных швов, а также при сварке в северных районах страны. Применение этих электродов обеспечивает высокое качество сварных швов, позволяет расширить диапазоны плохо сваривающихся сталей. В СССР выпускается более 20 марок электродов фтористокальциевого типа, большинство из которых по количеству выделяющейся пыли и содержанию в ней кремнезема и окислов марганца имеет удовлетворительные гигиенические характеристики.

По имеющимся в литературе данным [15] исследований электродов фирм Oerlikon и ESAB, количество пыли составляет от 12 до

Таблица 5

Химический состав пыли

Марка электрода	Пыль		Содержание в пыли, %		
	г/кг	г/мин	фтора, общее	фтора растворимых фторидов	марганца
К5А	24,1	0,87	20,6	18,5	4,6
УОНИ-13	18,6	0,72	19,0	14,0	5,2
АНО-11	22,4	0,85	16,0	11,7	3,9
АНО-15	19,5	0,78	13,9	11,8	5,1
АНО-9	16,0	0,59	10,0	7,7	5,6

21 г/кг наплавленного металла, а содержание марганца в составе пыли 3,4—5,5%. При сварке на переменном токе (а не на постоянном) валовые выделения пыли уменьшаются, хотя в сварочном аэрозоле содержатся фтористые соединения, в том числе растворимые фториды, легче других проникающие в организм. Гигиенические характеристики этой группы электродов сейчас тщательно исследуются. Данные о химическом составе пыли, выделяющейся при сварке некоторыми отечественными фтористокальциевыми электродами, приведены в табл. 5.

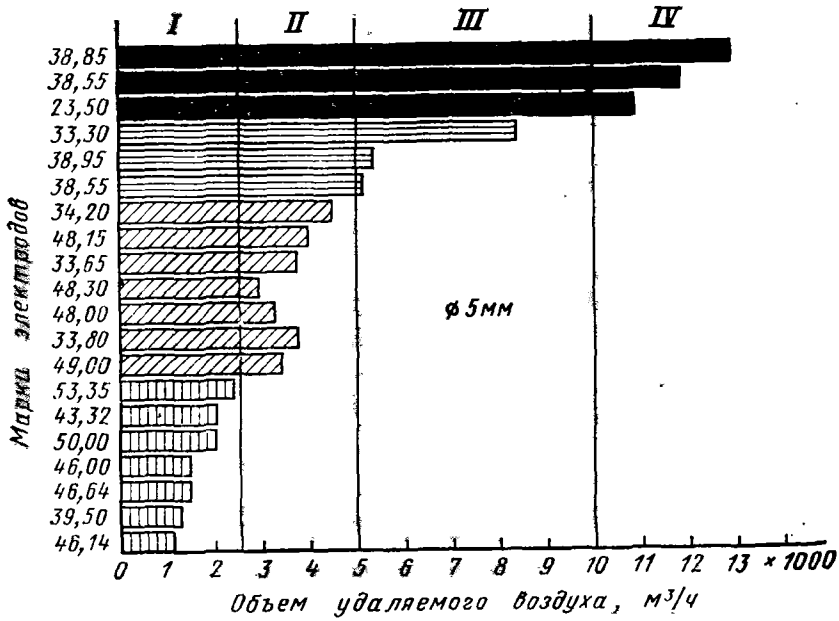


Рис. 1. Санитарно-гигиеническая оценка электродов, выпускаемых фирмой ESAB (Швеция) по интенсивности требуемого воздухообмена

При гигиенической оценке электродов, помимо концентрации пыли, следует учитывать еще величину, характеризующую скорость плавления электродов, или интенсивность пылевыделения во времени (мг/с). Это видно из рис. 1, характеризующего электроды шведской фирмы ESAB, при одном и том же диаметре электрода (∅5 мм) два типа наиболее высокопроизводительных электродов (38.85 и 38.55) обладают наибольшей потенциальной вредностью и относятся к IV классу. Наиболее безопасные электроды — 53.35, 53.36 и другие (с двойным покрытием).

II. СОСТОЯНИЕ И АНАЛИЗ ВЕНТИЛЯЦИИ ДЕЙСТВУЮЩИХ СВАРОЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

1. СОСТОЯНИЕ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

Изучение санитарно-гигиенических условий труда в действующих сварочных производствах, замеры состава воздуха в цехах, анализ отечественной и зарубежной литературы по этому вопросу позволяют сделать вывод, что даже при действующей вентиляции концентрации вредных веществ в атмосфере сварочных цехов намного превышают ПДК.

Борьба с газовыделениями и пылью ведется как путем локализации вредных выделений в месте их образования, так и с помощью систем общеобменной приточно-вытяжной вентиляции. Причинами недостаточной эффективности вентиляционных устройств является то, что не удается осуществить в полной мере отсос вредных выделений непосредственно из зоны дыхания или в месте их образования. В значительной части вредные выделения распространяются по помещению, загрязняя весь окружающий воздух, а общеобменная вентиляция не только связана с большими затратами, но также не в состоянии обеспечить требуемую чистоту воздуха непосредственно на рабочих местах сварщиков. В то же время в специализированных цехах по производству металлоконструкций используются преимущественно ручная и полуавтоматическая сварка в среде углекислого газа, составляющие до 80% объема сварочных работ. Наибольшее количество вредных веществ выделяется именно при этих процессах; концентрация сварочного аэрозоля при ручной сварке достигает в рабочей зоне 30 мг/м^3, что намного превышает допустимую санитарными нормами. Условия труда при полуавтоматической сварке в углекислом газе лучшие, чем при ручной. Однако вследствие все возрастающей интенсивности работ сильное пылеобразование (валовые выделения сварочного аэрозоля достигают 20 г/кг расходуемых сварочных материалов) делает состояние воздушной среды непригодным для работающих, если отсутствует эффективная вентиляция

Большое количество вредных выделений образуется в заготовительных цехах при газовой и плазменно-дуговой резке листового проката.

По данным проверки, проведенной в ГДР областными санинспекциями, концентрации вредных газов в некоторых сварочных цехах превышают ПДК в 2 раза и больше, а по окислам азота в 7 раз [43]. По данным отечественных исследований [17], концентрации вредностей при различных методах сварки превышают ПДК в 3—10 раз. Там, где представляется возможность применить местную вентиляцию без значительного ухудшения технологического процесса, ей отдается предпочтение. Общеобменная вентиляция применяется как дополнительная или когда применение местных отсосов невозможно (сварка крупных изделий в тяжелом машиностроении и судостроении, отсутствие четко фиксированных мест сварки и т. п.).

Большие размеры построенных и вновь проектируемых цехов и все увеличивающаяся интенсификация сварочных работ требуют подачи и удаления огромных масс воздуха.

При полуавтоматической сварке в среде CO_2 один сварщик расходует 3—5 кг сварочной проволоки в час. Это требует при общеобменной вентиляции для разбавления вредных выделений до ПДК расхода вентиляционного воздуха в количестве до 20 000 м³/ч на каждый пост, причем в зимнее время воздух должен быть подогретым.

Нетрудно подсчитать, что в больших сварочных цехах, где в одном пролете работают одновременно до 50 сварщиков, приточно-вытяжная вентиляция должна обеспечивать воздухообмен около 1 млн м³/ч. Для подогрева и перемещения такого количества воздуха требуются значительные энергозатраты. При этом часто из-за неправильно сконструированных отсосов концентрации вредных выделений в воздухе зоны дыхания сварщиков оказываются выше ПДК. В таких условиях затрачиваются без надлежащего эффекта огромные энергомощности, так как метеорологические условия на рабочих местах или в верхней зоне, где работают мостовые краны, не отвечают требованиям санитарных норм.

Наиболее неблагоприятные условия труда наблюдаются при ручных процессах дуговой сварки, наплавки и тепловой резки, особенно в отсеках или изделиях с замкнутыми контурами. При применении рудокислых и фтористокальциевых (основных) электродов, а также в холодное время года эти условия ухудшаются.

Известно, что при сгорании электрода ∅4 мм в среднем выделяется 0,5 г аэрозолей, соответственно электрод ∅5 мм выделяет 1 г аэрозолей, а электрод ∅6 мм приблизительно 1,5 г аэрозолей. Нетрудно подсчитать, например, что при сварке электродом ∅6 мм в помещении 5 × 5 м и высотой 4 м концентрация пыли в среднем $K = \frac{1500\text{мг}}{5\times5\times4} = 15$ мг/м³, что намного превышает допустимую санитарными нормами. Аналогично можно укрупненно оценить состояние воздушной среды в небольших цехах и на участках, работающих без вентиляции или с недостаточно эффективной системой отсоса вредных выделений. Количества вредных веществ, выделяемые при различных способах сварки и резки различных металлов, приводятся в приложениях 2, 3 и 4. Там же указывается количество воздуха, необходимого для их растворения до ПДК.

2. АНАЛИЗ РАБОТЫ ДЕЙСТВУЮЩИХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

Состояние действующих систем вентиляции в ряде конкретных сварочных производств с оценкой их эффективности приводится ниже по данным исследований, проведенных различными авторами.

Крупнейшим в стране комплексом по производству машиностроительных сварных конструкций является блок цехов металлоконст-

рукций завода «Уралмаш», вентиляция которого осуществляется в основном при помощи общеобменных приточно-вытяжных систем. В сборочно-сварочных пролетах приток воздуха осуществляется восемью вентиляционными установками производительностью по 100 000 м³/ч каждая. Забор наружного воздуха производится с торцов цеха. Удаление загрязненного воздуха осуществляется из верхней зоны над мостовыми кранами с помощью 20 осевых вентиляторов МЦ-12 производительностью 40 000 м³/ч каждый. В теплые периоды года, кроме того, открываются П-образные аэрационно-световые фонари в средних пролетах.

Изготовляются крупные сварные узлы большей частью в поточных линиях, где применяется механическое сварочное оборудование (кантователи, вращатели, позиционеры, манипуляторы, площадки для сварщиков и др.). В качестве примера рассмотрим линию производства поворотной платформы экскаватора ЭКГ-4,6. Габариты платформы 4 × 4 × 0,8 м, масса 15 т. Сварка ведется на трех установленных рядом манипуляторах, которые поворачивают свариваемую платформу так, чтобы сварка проводилась в нижнем положении. Сварщики работают внутри или сверху платформы.

Для подъема на изделие установлены площадки сварщиков, где размещены полуавтоматы, кассеты с проволокой и другое оборудование. Местной вентиляции на этих рабочих местах нет. После сварки нижних швов изделие снимается с манипуляторов и устанавливается на торец. Здесь сварщики работают на специальных настилах или сидя сверху на платформе, держатели полуавтоматов вводятся внутрь через специальные окна. Попытка применить на этом рабочем месте вытяжную установку с вентилятором ВВД-5 и переносными пылегазоприемниками на резиновых шлангах диаметром 100 мм не дала эффекта. Установка мало используется, так как шланги малоэластичные, тяжелые и неудобные при перестановке, а местные отсосы не имеют устройств для закрепления у места сварки. Выброс загрязненного воздуха предусматривается через патрубок на высоте 3 м от пола в верхнюю зону помещения, что является нежелательным.

Окончательная сварка платформы полуавтоматами в среде CO_2 производится на двухстоечном кантователе, также не имеющем вытяжной вентиляции. Общеобменная вентиляция без местных отсосов не обеспечивает требуемых санитарно-гигиенических условий на рабочих местах и концентрации вредных выделений превышают предельно допустимые величины. Особенно повышается загрязненность воздуха к концу смены в конце месяца, когда возрастает объем сварочных работ. Из-за загрязнения воздуха в верхней зоне создаются неблагоприятные условия для работы на мостовых кранах, где крановщиками работают женщины. На заводе разработаны и внедряются несколько схем приточной вентиляции для крановщиков, при этом особую трудность представляет место подсоединения приточного магистрального короба с «лодочкой» мостового крана.

Значительное выделение вредных веществ происходит на участке тепловой резки листового проката, где установлены машины «Logatome». Приточной и вытяжной местной вентиляции нет. Нет местной вытяжки и на установке для электрошлаковой сварки, где локализация вредных веществ вполне возможна, так как зона их выделения ограничена. Рядом размещена установка для наплавки доменных конусов порошковой лентой АН1010, где установлена и эффективно действует местная вытяжная вентиляция. Удаление вредных веществ осуществляется цилиндрическим патрубком диаметром 150 мм, размещенным сбоку от сварочной головки и присоединенным гибким шлангом диаметром 200 мм к вентилятору ВВД-5 производительностью 800 м³/ч. Выброс загрязненного воздуха производится за пределы цеха без очистки, что является нежелательным. Аналогичные установки эксплуатируются также на участке сварки цветных металлов.

На заводе «Уралхиммаш» в цехе сборки и сварки обечаек производится сварка различных емкостей из нержавеющих и легированных сталей. Наружные швы свариваются автоматической сваркой под слоем флюса, внутренние — ручной дуговой сваркой. Местная вытяжная вентиляция при сварке не применяется, разбавление вредных веществ производится общеобменной механической вентиляцией. На участке ручной газовой резки листов отсос вредных веществ осуществляется двухсторонними боковыми отсосами, размещенными по всей длине листа (около 3 м). Двухсторонний отсос эффективен, однако расход удаляемого воздуха значителен — до 8000м³/ч. На участке подготовки кромок днищ действует вытяжная вентиляционная установка, смонтированная из телескопических воздуховодов ∅200 мм со всасывающим патрубком 250 × 250 мм, устанавливаемым у места вырезки — над поворотной планшайбой. Система, оборудованная центробежным вентилятором Ц13-50 № 5, обеспечивает эффективный отсос вредных веществ, однако выброс загрязненного воздуха производится в атмосферу без очистки.

Ниже приведен пример работы вентиляционных систем сборочно-сварочного цеха судостроительного завода [12]. Среднее количество пыли, выделяющееся при сварке, составляет, по данным авторов, 500 кг в месяц. Для разбавления ее до ПДК (в цехе применяется ручная электродуговая сварка, полуавтоматическая в среде CO_2 и под слоем флюса) требуется подавать в цех в течение рабочего дня (8 ч) более 6 000 000 м³ воздуха. Общая производительность установок общеобменной вентиляции (~ 630 000 м³/ч) и местной (62 000 м³/ч). Анализ замеренных концентраций запыленности и загазованности в рабочей зоне на различных участках цеха в разное время года показал, что если в летнее время в среднем по цеху концентрации лежат в пределах допустимых, то в зимний период содержание пыли на рабочем месте доходит до 20 мг/м³, а по отдельным выделяющимся вредным веществам оно превышает ПДК в 1,5—3 раза. При ручной сварке в закрытых секциях концентрация пыли составляет 28,2 мг/м³, в том числе двуокиси марганца —

1,05 мг/м³, а при полуавтоматической сварке в среде CO_2 в закрытой секции летом и при одном работающем отсосе концентрация пыли составляет 91 мг/м³, двуокиси марганца — 9 мг/м³, окиси углерода — 17 мг/м³.

В одном из больших сварочных цехов ФРГ (длиной 100 м, шириной 64 м, высотой 8 м) объемом около 51 тыс. м³ сварка конструкций производится в основном штучными электродами с толстой обмазкой. Борьба с интенсивным выделением газов и аэрозоля ведется с помощью общеобменной вентиляции: 23 потолочных вентилятора общей производительностью около 400 тыс. м³/ч обеспечивают разбавление вредных веществ в среднем по цеху до ПДК, однако исследования распределения концентраций в отдельных участках цеха показали наличие локальных зон с концентрацией пыли и газов, превышающих ПДК [46].

Исследования содержания токсичных выделений при сварке нержавеющих сталей на судостроительных верфях Норвегии без применения вентиляции показали, что концентрации аэрозолей, содержащих значительные количества никеля, хрома, марганца, свинца, составляют до 53,4 мг/м³.

Сварка полуавтоматами в среде защитных газов, кислородная и плазменно-дуговая резка помимо выделений газов и пыли сопровождается сильным ультрафиолетовым излучением, приводящим к образованию озона на рабочих местах в количествах, превышающих допустимые концентрации в 140 раз [48]. После установки общеобменной вентиляции в сочетании с местными отсосами, встроенными в сварочные горелки, концентрации вредных веществ в зоне дыхания снизились до ПДК.

По данным обследования воздушной среды в сборочно-сварочном цехе ленинградского судостроительного завода им. Жданова, проведенного кафедрой охраны труда Ленинградского ордена Ленина кораблестроительного института [10], наибольшее количество вредных веществ отмечается в зимний период, когда работает только механическая вентиляция. Вредные вещества распределяются по цеху неравномерно, существуют застойные зоны, где накапливаются примеси, особенно на уровне 5 м от пола. Несмотря на наличие приточно-вытяжной вентиляции, рассчитанной на производительность, достаточную для разбавления выделяющихся газов и пыли до ПДК с равномерным (без учета места сосредоточения сварочных процессов) расположением воздухозаборных отверстий, требуемая чистота воздуха не обеспечивается.

Все эти и другие многочисленные результаты обследования сварочных цехов показывают, что один воздухообмен не определяет эффективности вентиляции. Необходимо применение местных отсосов соответствующих конструкций с расположением их в местах наибольших концентраций.

Устройство эффективной вентиляции рассматриваемых цехов является сложной задачей, особенно при сварке в помещениях малого объема. Она должна решаться в основном с помощью применения

местных отсосов. Некоторые пути усовершенствования вентиляционных устройств сварочных цехов, принципы конструирования и повышения эффективности местных отсосов, а также общеобменной вентиляции рассматриваются ниже.

3. ПРИМЕНЯЕМЫЕ МЕСТНЫЕ ОТСОСЫ

Многообразие методов сварки и тепловой резки привело к большому разнообразию конструкций существующих местных отсосов. В зависимости от условий сварки или резки, обслуживаемого сварочного или технологического оборудования и других факторов все конструкции отсосов можно условно разделить на пять основных групп:

1) малогабаритные отсосы от сварочных автоматов и полуавтоматов (встроенные в сварочную аппаратуру);

2) местные отсосы, встроенные в столы сварщика (для сварки мелких и средних деталей);

3) местные отсосы, встроенные в сборочно-сварочные стенды, установки и механическое сварочное оборудование (МСО) для сварки крупногабаритных деталей;

4) местные отсосы для стационарных мест сварки изделий средних размеров (поворотно-подъемные) и портативные переносные для нестационарных мест сварки;

5) местные отсосы для тепловой резки металлов.

Местные отсосы первой группы являются наиболее экономичными и перспективными. К ним относятся малогабаритные отсосы, встраиваемые в держатели сварочных полуавтоматов, автоматические головки или сварочные аппараты. Малый расход воздуха (50—200 м³/ч на одно рабочее место), компактность и легкость отсосов позволяют считать, что в будущем они займут доминирующее положение.

Местные отсосы второй группы — это разнообразные столы сварщика с встроенными отсосами (верхними, нижними, комбинированными), с индивидуальными вентиляционными агрегатами или присоединяемые к общецеховой системе. Они находят широкое применение при сварке и пайке небольших деталей на фиксированных

Таблица 6

Рекомендуемый расход воздуха (в м³/ч)

Размер панели, мм	Живое сечение, м²	Скорость в живом сечении, м/с						
		2	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0
600×645	0,086	620	775	930	1080	1240	1550	1860
750×645	0,110	790	990	1185	1380	1580	1980	2370
900×645	0,130	935	1170	1400	1640	1870	2340	2810

рабочих местах, в поточных линиях, при ремонте и других видах сварочных работ.

Местные отсосы третьей группы — это отсосы, встраиваемые в большие сборочно-сварочные кондукторы, установки, стенды или непосредственно в МСО (кантователи, позиционеры, площадки сварщиков и т. д.). Они применяются при сварке крупных узлов наряду с отсосами первой группы и являются весьма перспективными в крупных механизированных сварочных производствах.

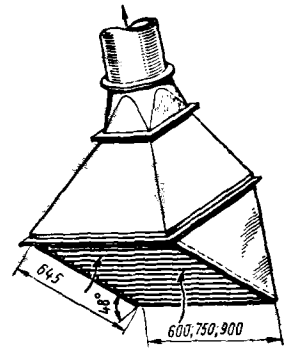
К четвертой группе относятся все переносные воздухоприемники различных конструкций, например переносной воздухоприемник, перемещаемый рабочим при сварке на стационарных местах крупных изделий; переносной малогабаритный пылегазоприемник (чаще всего с присосом и длинным шлангом, который сварщику приходится все время перемещать вслед за дугой) и т. п. Таким образом, отсосы этой группы объединяет общий и существенный недостаток: необходимость перемещения их вслед за сварщиком, что является нежелательной дополнительной нагрузкой. Отсосы этой группы являются неперспективными и их применение следует ограничивать. Однако в труднодоступных для вытяжки местах сварки они являются пока незаменимыми.

Местные отсосы пятой группы объединяют специфические конструкции, предназначенные для всех видов механизированной тепловой резки, особенно плазменной. Эти отсосы конструируются как для стационарных рабочих мест, так и для поточных линий с большим количеством одновременно работающих машин.

В дальнейшем (п. 4—7 гл. IV) при описании рекомендуемых конструкций местных отсосов мы будем придерживаться вышеуказанной конструктивной классификации.

Рассмотрим эффективность применения местных отсосов перечисленных групп в существующих сварочных производствах как в отдельности, так и в совокупности с общеобменной вентиляцией.

В практике сварочных цехов машиностроительных заводов, спроектированных и построенных в прежние годы, наибольшее распространение получили конструкции отсосов второй и четвертой групп, преимущественно выполненных в виде стационарных боковых вытяжных панелей, обеспечивающих отклонение факела вредных выделений от лица сварщика. Одной из них является широко известная наклонная панель равномерного всасывания конструкции А. С. Чернобережского (рис. 2, *а*). Всасывающее отверстие выполнено в виде решетки, набранной из отдельных планок профилированной формы, между которыми расположены горизонтальные щели для всасывания загрязненного воздуха. Живое сечение щелей составляет 25% габаритной площади панели. Угол наклона всасывающей решетки принят 45° к горизонту. Нижний край панели располагается на высоте 300 мм от поверхности стола для размещения свариваемых деталей. В последние годы, по рекомендациям ЛИОТ, для эффективного улавливания вредных выделений скорость воздуха в живом сечении решетки принимают равной 3—4 м/с (при



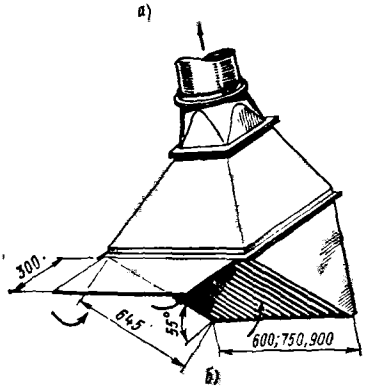
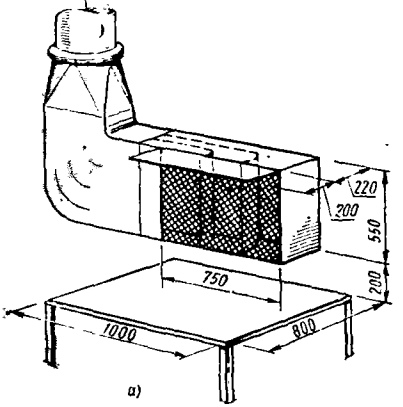


Рис. 2. Наклонные вытяжные панели равномерного всасывания:

а — вытяжная панель А. С. Чернобережского; *б* — типовая вытяжная панель



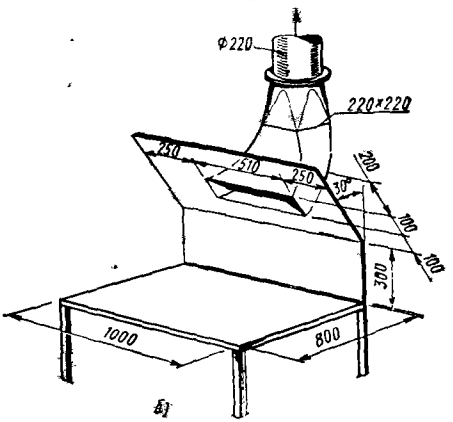


Рис. 3. Боковые отсосы для фиксированных мест электросварки:

а — боковой отсос конструкции Т. С. Карачарова; *б* — однощелевой отсос конструкции П. П. Щедова

сварке особо токсичных материалов — до 8 м/с). Расход воздуха подсчитывается по удельному расходу, равному 3300 м³/ч на 1 м² габаритной площади отсоса. Коэффициент местного сопротивления вытяжной панели, отнесенный к динамическому давлению воздуха в вытяжном патрубке, $\xi = 0{,}29$.

Многие сварочные цехи применяют разработанные ГПИ «Сантехпроект» типовые конструкции местных отсосов (рис. 2, *б*) с вытяжными решетками из штампованных полос, образующих вертикальные щели для всасывания воздуха. Размеры типовых панелей и рекомендуемые расходы воздуха приведены в табл. 6.

Согласно рекомендациям [27], угол наклона вытяжной решетки панели принимается равным 55° (35° к вертикали). Для уменьшения зоны всасывания над панелями устанавливаются козырьки шириной 300 мм.

При электросварке применяются также вытяжные панели Т. С. Карачарова (рис. 3, *а*), представляющие собой прямоугольный короб с открытым отверстием для всасывания воздуха размером 600 × 550, 750 × 550 или 920 × 550 мм. Отверстие закрыто предохранительной сеткой. Над всасывающим отверстием установлен горизонтальный козырек шириной 200 мм. Для обеспечения равномерности всасывания в вытяжном коробе панели устанавливаются направляющие перья. Коэффициент местного сопротивления отсоса $\xi_м = 0{,}33$. Расход воздуха для показанной на рис. 3, *а* конст-

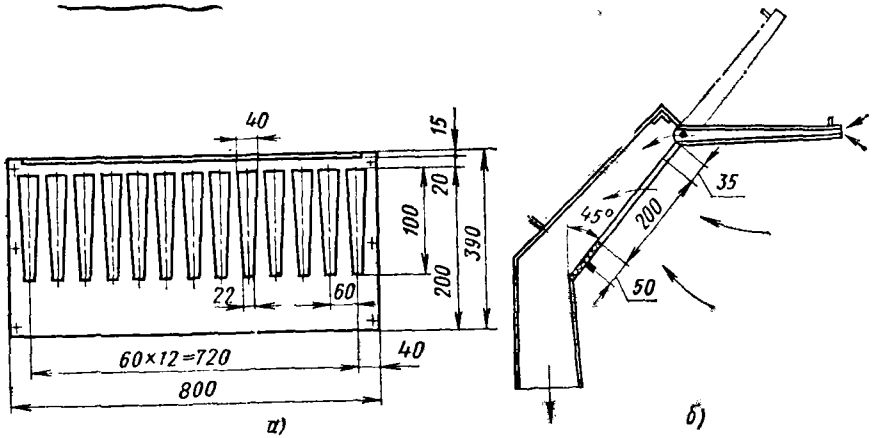


Рис. 4. Вытяжная панель Научно-исследовательского института санитарной техники и оборудования зданий и сооружений (НИИСТ):

а — решетка вытяжной панели; *б* — установка панели и подвижного козырька

рукции отсоса составляет 1500—1700 м³/ч (удельный расход воздуха 4100 м³/ч на 1 м² габаритной площади всасывающего отверстия).

На рис. 3, *б* показан панельно-щелевой отсос для сварки мелких и средних деталей конструкции инж. П. П. Щедова [33], представляющей собой наклонную панель с всасывающим отверстием размером 100 × 500 мм. К отверстию приваривается переходной патрубок диаметром 220 мм, присоединяемый к цеховому воздуховоду. Панель при помощи кронштейнов из уголка устанавливается на стене или колонке со стороны, противоположной рабочему месту сварщика. Рекомендуемый расход воздуха — 1600 м³/ч. При таком расходе скорость воздуха в спектре всасывания у края стола 0,2 м/с обеспечивает эффективное улавливание вредных веществ. Коэффициент местного сопротивления панели $\xi_м = 0{,}49$. При сварке крупных деталей стол отодвигается в сторону и свариваемое изделие помещается непосредственно под вытяжной панелью.

Оценка эффективности описанных выше конструкций местных отсосов, проведенная Ленинградским институтом охраны труда [4], показала, что при одинаковом расходе удаляемого воздуха 1800 м³/ч наилучшую эффективность улавливания вредных веществ при сварке мелких деталей обеспечивает панель Чернобережского. Панельно-

щелевой отсос Щедова, отличающийся простотой изготовления и малой металлоемкостью, обеспечивает эффективный отсос лишь при расположении точки сварки в небольшой зоне перед вытяжным отверстием.

Вытяжная панель, разработанная в НИИСТ (г. Киев), имеет снизу патрубок для подключения к вытяжной системе. Для обеспечения равномерного всасывания воздуха вытяжные щели выполнены трапециевидной формы, сужающимися книзу (рис. 4). В верхней части панели непосредственно возле козырька выполнена сплошная

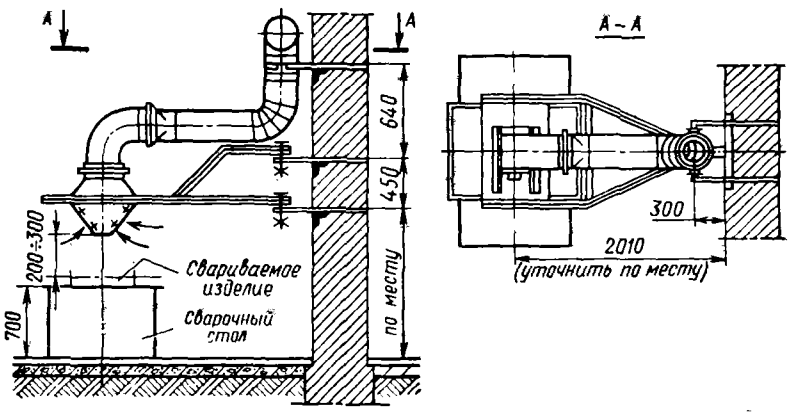


Рис. 5. Двухсторонний поворотный воздухоприемник ЛИОТ-1

горизонтальная щель шириной 15 мм. Это обеспечивает более эффективную работу вытяжной панели. Ее рекомендуется применять для фиксированных мест сварки мелких и средних деталей.

Для локализации вредных веществ при сварке узлов длиной до 2—3 м применяют подъемно-поворотные воздухоприемники типа ЛИОТ-1 (рис. 5) или ЛИОТ-2 (рис. 6), а для сварки крупногабаритных изделий и в закрытых отсеках — переносные приемники с пневмоприсосами на резиновых шлангах, подключаемых к общецеховому коллектору. Эти устройства подробно описаны в отечественной литературе [5, 27, 42], подобные схемы применяют и за рубежом. Подъемно-поворотные воздухоприемники эффективны, но довольно громоздки, требуют частой перестановки отсоса от одной точки сварки к другой, что снижает производительность труда. Одной из главных причин, ограничивающих применение переносных пылегазоприемников, является отсутствие легких, прочных и эластичных шлангов. Зона действия пылегазоприемников при расходе удаляемого воздуха 150 м³/ч — 200 мм (примерно такая длина шва может быть сварена одним электродом). Общим недостатком этих систем является нежелательная затрата времени сварщиком на их перестановку и загромождение рабочей зоны. Поэтому многие заводы и зарубежные фирмы непрерывно занимаются усовершенствованием данных конструкций и разработкой встроенных отсосов.

При конструировании линий сборки и сварки применяется так называемая схема активированного местного отсоса, которая обеспечивает удаление вредных веществ, однако требует больших расходов воздуха (до 100 000 м³/ч на одну линию, состоящую из 6 позиций). Установка перекидных клапанов, отключающих часть местных отсосов, несколько снижает потребный воздухообмен (до 30—40 тыс. м³/ч)[1]. Перспективными для сборочно-сварочных линий, где сварка (и даже прихватка) выполняется полуавтоматами, являются малогабаритные местные отсосы, устанавливаемые непосредственно на полуавтоматах и автоматах. Это уменьшает количество удаляемого воздуха до 50—200 м³/ч на одну позицию, ибо расход здесь определяется только силой тока (интенсивностью ведения сварочного процесса) и расстоянием от местного отсоса до точки сварки.

Современные сварочные производства с конвейерными и поточными линиями, отличающиеся большой степенью механизации, применением механизированных методов сварки и резки, описанные выше устройства удовлетворить не могут. В ближайшие годы наиболее удачные конструкции встроенных местных отсосов начнут их вытеснять.

Увеличение выпуска сварных конструкций в настоящее время невозможно без механизированных и автоматизированных линий на базе механического сварочного оборудования (МСО), предназначенного для выполнения операций по кантовке свариваемых изделий, установке их в удобное для сварки положение, транспортировке. Однако на большей части серийно выпускаемых кантователей, позиционеров, площадок для сварщиков, вращателей, велосипедных и глагольных тележек, встроенных местных отсосов нет. ВИСП (г. Киев) проводит разработку местных отсосов на этом оборудовании, считая ее перспективной, и в конструкциях, разработанных в последние годы, уже имеются встроенные отсосы (некоторые из них описаны в гл. IV). Испытание и совершенствование этих устройств продолжается, однако на практике они применяются лишь в единичных случаях. Иностранные фирмы выпускают такое оборудование, как правило, также без местных отсосов.

В США, ФРГ, ГДР основным способом местной вентиляции при ручной и полуавтоматической сварке крупных узлов является удаление вредных веществ с помощью подвижных пылегазоприемников или переносных отсосов на гибких шлангах, кроме того, предусматривается общеобменная вентиляция. Передвижные пылегазоприемники выполняются в виде воронки с косым срезом (рис. 7), они обслуживают зону шириной 3—4 м. Вентиляционные агрегаты устанавливаются под перекрытием или на кровле здания, вентилятор монтируется на одном валу с электродвигателем, ось агрегата располагается вертикально. Когда свариваемые изделия громоздки или

[1] Подробно конструктивные схемы активированных отсосов приведены в п. 6 гл. IV.

имеют сложную конфигурацию, применяют переносные отсосы в виде цилиндрических патрубков или воронок круглого и прямоугольного сечения. Для присоединения отсосов к вытяжным установкам применяют облегченные эластичные шланги диаметром 75—100 мм. Такая вентиляция эффективна, однако помещение загромождено пучками вытяжных шлангов, имеющихся у каждого сварщика.

Вытяжные колпаки, находящиеся над головой сварщика, могут эффективно отсасывать выделяющиеся вредные вещества, однако

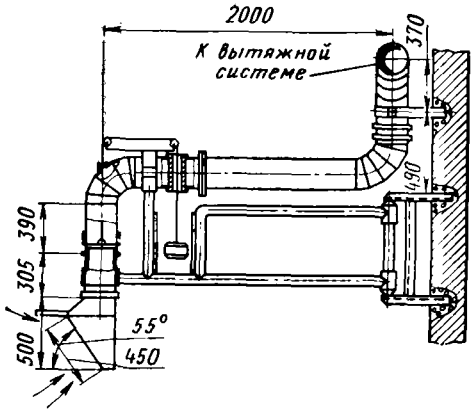


Рис. 6. Поворотно-подъемный воздухоприемник ЛИОТ-2



Рис. 7. Передвижной пылегазоприемник на гибком шланге, присоединенный к индивидуальному вытяжному вентилятору

при этом газы и пыль проходят через зону дыхания сварщика, но падают под маску и фактически рабочий дышит загрязненным воздухом. Попытки применить нижний отсос часто приводят к нарушению газовой защиты дуги и плохому качеству сварочных швов. Кроме того, чтобы повернуть вниз и отсосать подымающиеся вверх конвективные потоки загрязненного воздуха, требуются большие затраты энергии. Создаваемая при этом большая скорость воздуха приводит к захвату вместе с вредными веществами и углекислого газа, который сам по себе имеет тенденцию к опусканию вниз.

В случаях, когда другими средствами не удается оздоровить атмосферу в рабочей зоне, прибегают к индивидуальным средствам защиты органов дыхания сварщиков. Чаще всего применяют различные респираторы и маски; при работе в закрытых отсеках небольшого объема применение их является обязательным. Создание удобных и рациональных конструкций масок (респираторов, полумасок и др.) весьма актуально. Отечественные респираторы ШБ-1 «Лепесток» и У-2К применяются сварщиками чаще других. К сожа-

лению, эти и другие маски разработаны без достаточного учета антропологических данных, снижают обзорность и затрудняют дыхание сварщика. Появились в последнее время конструкции масок, снабженных устройствами для подачи свежего воздуха. Одна из таких конструкций создана Институтом гигиены труда и профзаболеваний Академии медицинских наук СССР совместно с автозаводом им. Лихачева. При конструировании использована стандартная маска электросварщика, чистый воздух подается принудительно в объеме 110—140 л/мин от вентилятора высокого давления или от цеховой сети; предусмотрен электроподогрев воздуха. Результаты эксплуатации таких масок удовлетворительные.

Заметим, что совершенно недопустимо подавать в маску или в закрытый отсек, где происходит сварка, чистый кислород, который не пригоден для постоянного вдыхания и, кроме того, может адсорбироваться на одежде сварщика и от случайных искр привести к ее возгоранию.

Некоторые зарубежные фирмы пытаются совместить отсос с маской сварщика. Конструируют маску так, чтобы с ее боков и внизу размещались воздухоприемники, соединенные с гибким шлангом. Так как маска при этом становится тяжелей обычного, ее подвешивают к консоли на тросе с уравновешивающим устройством. Устройство можно применять при сварке в закрытых отсеках и в обычном месте. Количество удаляемого воздуха — 24 л/мин.

Следует отметить, что тенденция любыми средствами удалить вредные выделения непосредственно из зоны сварки является доминирующей. Этой цели служит устройство так называемого воздушного душа для отвода сварочного дыма от маски сварщика, разработанное в ГДР и показанное на рис. 8 [41]. Перед защитным экраном маски (ниже окошка) расположены две согнутые дугообразно трубки ⌀10 мм — одна с наружной, другая с внутренней стороны. Воздух подается по шлангу от цеховой сети и через рукоятку, являющуюся одновременно воздушным вентилем, поступает в трубки, откуда через отверстия ⌀1 мм, просверленные с шагом 10 мм, выходит в пространство перед маской. Сварочный дым в зону дыхания рабочего не попадает. Масса маски всего на 100 г больше обычной. Необходимый расход воздуха — 40 л/мин. В совокупности с общеобменной вентиляцией устройства индивидуальной защиты сварщиков путем подачи свежего воздуха под маску или с помощью воздушного душа весьма эффективны.

По данным К. Г. Коллмана [42], в США в последние годы созданию конструкции эффективного отсоса, встроенного в держатель полуавтомата, придается большое значение. При этом решается задача не только улучшения условий труда, но и резкого снижения энергозатрат на вентиляцию. Работы по созданию малогабаритных отсосов ведутся в Англии, Франции, ГДР, успешно проводятся они и в нашей стране. В результате появилось много разнообразных конструкций, которые оказались довольно эффективными, надежными, не мешающими технологическому процессу. Такие устройства свар-

щики охотно применяют[1], поэтому они имеют перспективу широкого внедрения в сварочных цехах.

Необходимость во все более надежных приборах для экспрессных методов проверки состояния атмосферы производственных помещений растет с каждым днем. Однако они пока еще не нашли широкого распространения в сварочных производствах, особенно приборы для систематического контроля и сигнализации о состоянии воздушной среды в рабочей зоне цехов и участков, содержании отдельных компонентов вредных веществ в атмосфере цехов, величине общей концентрации аэрозоля в воздушной среде. При превышении границ допускаемых величин необходимо включать вентиляцию

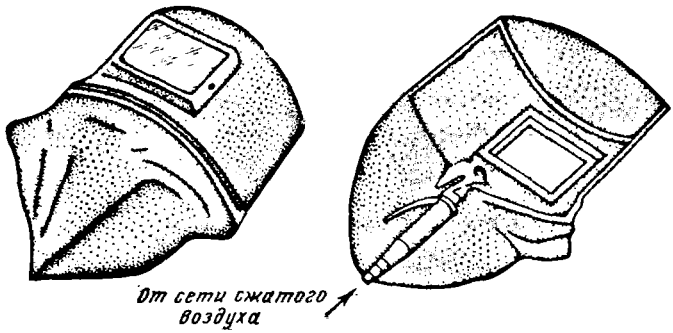


Рис. 8. Маска сварщика с воздушным душем

сигнализацию, а при возвращении концентрации к норме — отключать их, что обеспечит дополнительную экономию энергозатрат. Для массового внедрения в производство таких приборов еще мало выпускается промышленностью.

В отечественных сварочных цехах для экспрессного определения концентрации окиси углерода и других вредных веществ в воздухе чаще всего применяют переносной универсальный газоанализатор УГ-2, снабженный соответствующими индикаторными трубками. Технические данные прибора приведены на с. 8.

В ФРГ для предупреждения о наличии в воздухе окиси углерода применяют стационарный прибор непрерывного действия. При превышении ПДК (25 мг/м^3) включается вентилятор, который при снижении концентрации до нормы отключается. При дальнейшем повышении концентрации до величины 100 мг/м^3 включается сигнал газовой тревоги. На шкале прибора можно прочесть в любое время величину концентрации окиси углерода. Диапазон измерения 0—150 мг/м^3 или 0—250 мг/м^3. Время от превышения ПДК до срабатывания электроконтактов прибора равно 45 с., прибор работает при температуре в помещении от — 20° до + 40° С, точность показания ± 2%. Размеры прибора — 350 × 300 × 210 мм.

[1] Лучшие конструкции описаны в п. 4 гл. IV.

Таким образом, можно сделать вывод, что сварочные и заготовительные цехи характеризуются неблагоприятными условиями труда, отрицательно влияющими на здоровье и производительность труда работающих в этих производствах. Процесс сварки и тепловой резки сопровождается рядом неблагоприятных факторов — выделением в воздух сварочного аэрозоля, вредных газов; шумом, облучением и др, которые при совместном действии усиливают влияние каждого из них в отдельности.

Проведенная гигиеническая оценка методов сварки и резки, применяемых сварочных материалов позволяет правильно и с достаточной точностью определять характер и динамику вредных выделений, их валовое количество и предупредить возможное воздействие их на организм работающих. А исследования применяемых сварочных материалов позволяют рекомендовать к применению те из них, которые сопровождаются минимальным вредным воздействием, и определить количество воздуха, необходимого для локализации вредных выделений (при местных отсосах) или для разбавления (при общеобменной вентиляции).

Заканчивая обзор состояния воздушной среды и применяемого оборудования для вентиляции в действующих сварочных производствах по материалам отечественной и зарубежной литературы, необходимо подчеркнуть, что задача значительного улучшения санитарно-гигиенических условий труда может быть решена только путем разработки и создания новых эффективных методов борьбы с выделяющимися вредными веществами, создания соответствующих, преимущественно встроенных в оборудование местных отсосов в совокупности с рациональными системами общеобменной вентиляции

III. РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ МЕСТНЫХ ОТСОСОВ

1. СВАРОЧНЫЙ ФАКЕЛ И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ

Все сварочные процессы протекают при быстром изменении температуры свариваемого или разрезаемого металла от температуры окружающего воздуха до температуры испарения металла. В этом широком диапазоне температур происходят разнообразные физические и химические процессы. Все применяемые источники нагрева отличаются большой тепловой мощностью, способствующей образованию сварочного факела (или режущей струи).

При электродуговой сварке, например, температура в столбе сварочной дуги достигает 6500 К (рис. 9), а в участках электродов, через которые проходит сварочный ток, она близка к точке кипения металла и достигает 2500—2600 К. Это способствует выделению в окружающее пространство значительного количества металлических паров, которые конденсируются, образуя мелкодисперсную пыль (сварочный аэрозоль). Выделяется также ряд токсичных газов.

Горение сварочной дуги сопровождается разбрызгиванием капель металла и шлака из сварочной ванны, носящим характер микровзрывов.

Конвективное тепло, отдаваемое дугой и нагретой деталью окружающему воздуху, способствует возникновению поднимающейся вверх загрязненной струи — сварочного факела (рис. 10). Как любой другой конвективный поток, сварочный факел состоит из разгонного (начального) и основного участков. В разгонном участке

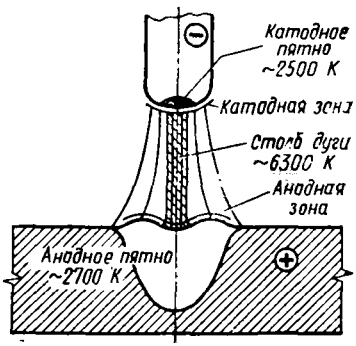


Рис. 9. Дуговой разряд открытой сварочной дуги



Рис. 10. Сварочный факел при ручной электросварке электродами УОНИ-13

высотой 0,3—0,4 м подтекающий к дуге воздух нагревается и поднимается вверх, скорость его значительно увеличивается. На рис. 10 хорошо видно, что разгонный участок сварочного факела имеет меньший диаметр, чем основной, происходит поджатие конвективного потока подтекающим с боков воздухом.

Исследованиям закономерностей сварочного факела посвящены работы В. М. Эльтермана, Т. С. Карачарова, О. Н. Тимофеевой, М. З. Брауде [1, 34, 32, 35] и др. Основной участок сварочного факела характеризуется уменьшением осевых скоростей и температур по мере подъема факела вверх и перемешивания его с окружающим воздухом. Экспериментальные зависимости v_m и Δt_m при ручной сварке электродами диаметром 3 и 5 мм показаны на рис. 11. Обработка полученных данных с учетом закономерностей тепловых струй и величины конвективного тепла $Q_к$ позволила В. М. Эльтерману сделать вывод, что осевая скорость v_m (в м/с) и избыточная температура Δt_m (в град) в основном участке сварочного факела достаточно хорошо описываются теоретическими зависимостями:

$$v_m = 0{,}136 Q_к^{1/3} y^{-5/3}; \quad (3)$$

$$\Delta t_m = 0{,}5 Q_к^{1/3} y^{-1/3}, \quad (4)$$

где y — расстояние по вертикальной оси до рассматриваемой точки факела, м.

Как показывает рис. 12, распределение осевых относительных концентраций и избыточных температур в факеле подчиняется одной зависимости. Исследования также подтвердили, что при увеличении мощности дуги абсолютные значения параметров сварочного факела возрастают. По указанным зависимостям можно вычислять значения осевых скоростей в сварочном факеле и значения осевых избыточных температур на высоте $y = 0{,}4$ м от поверхности деталей и более.

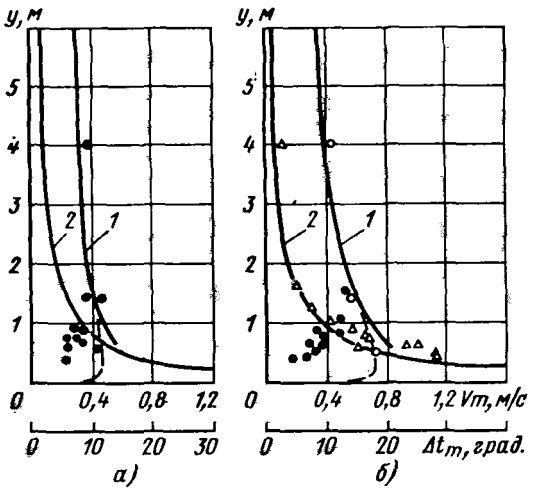


Рис. 11. Результаты экспериментальных исследований избыточных температур и скоростей воздуха на оси свободного сварочного факела:

а — параметры при сварке электродами ОММ-5 (Ø 3 мм, $I_{св}$ = 120 А); *б* — параметры при сварке электродами УОНИ-13 (Ø 5 мм, $I_{св}$ = 250 А); *1* — осевая скорость и *2* — избыточная температура по формулам В. М. Эльтермана

При расчете местных отсосов особенно важно знать параметры в начальном участке сварочного факела, т. е. на высоте 0,4—0,5 м. Поэтому В. Р. Зайченко были проведены теоретические и экспериментальные исследования начального участка сварочного факела при ручной, полуавтоматической и автоматической сварке в среде защитных газов и сварке под слоем флюса и предложены следующие зависимости для определения максимальных осевых температур Δt_m и скоростей v_m:

при ручной и полуавтоматической сварке

$$\Delta t_m = k_р I_д^{0,222} y^{-0,8}, \text{ К}; \qquad (5)$$

при автоматической сварке

$$\Delta t_m = k_а (\lg I_д)^{0,071} y^{-0,8}, \text{ К}, \qquad (6)$$

где y — высота от поверхности свариваемой детали до рассматриваемой точки, м; $I_д$ — сила сварочного тока, А; при сварке под слоем флюса $k_р = 4{,}6$, $k_а = 20$.

При сварке в среде защитных газов температура в столбе сварочной дуги значительно выше, чем при сварке под слоем флюса. Как

следствие отмеченного, абсолютные значения v_m и Δt_m также возрастают, поэтому при сварке в защитных газах $k_р = 6{,}5$ и $k'_а = 28$.

$$v_m = \sqrt{gy\frac{\Delta t_m}{T_\infty}}, \text{ м/с}, \qquad (7)$$

где T_∞ — температура окружающей среды, которую можно принять равной 293 К.

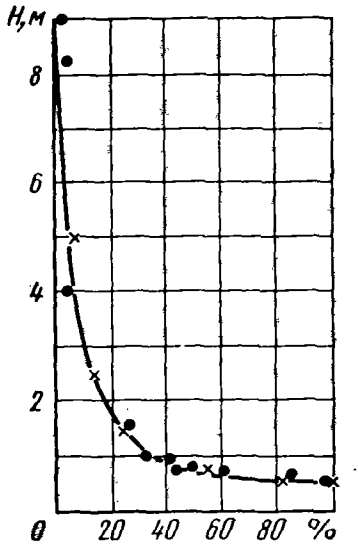


Рис. 12. График распределения избыточных температур и концентраций по оси сварочного факела:

× — относительные избыточные концентрации пыли $S/S_{0,5} \cdot 100\%$; $S_{0,5} = 60$ м²/м³; ● — относительные избыточные температуры $\Delta t/\Delta t_{0,5} \cdot 100\%$; $\Delta t_{0,5} = 30°$

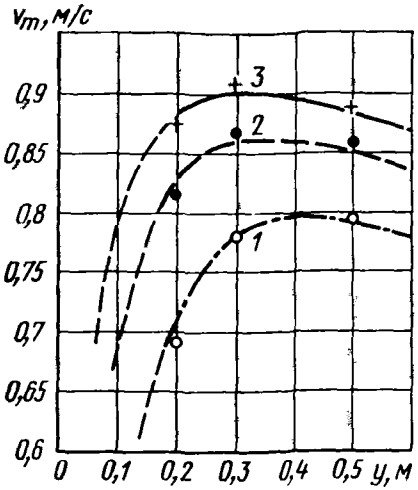


Рис. 13. Скорости воздуха в сварочном факеле (по В. Р. Зайченко) при силе тока:

1 — 200 А; *2* — 1200 А; *3* — 3000 А

После подстановки цифровых значений и Δt_m из формулы (5) формула для определения осевой скорости (в м/с) в начальном участке сварочного факела (при ручной сварке), предложенная В. Р. Зайченко и В. Л. Писаренко будет иметь вид:

$$v_m = 8\sqrt{\frac{I_д^{0,222}\, y^{0,2}}{T_\infty}}. \qquad (8)$$

Например, при сварке электродами ⌀5 мм током силой 250 А скорость воздуха определяется следующим образом. Задавшись отметкой интересующей нас точки сварочного факела, например, $y = 0{,}4$ м, при температуре окружающей среды 20° С получим

$$v_m = 8\sqrt{\frac{250^{0,222} \cdot 0{,}4^{0,2}}{273+20}} = 8\sqrt{\frac{3{,}41 \cdot 0{,}823}{293}} = 0{,}78 \text{ м/с}.$$

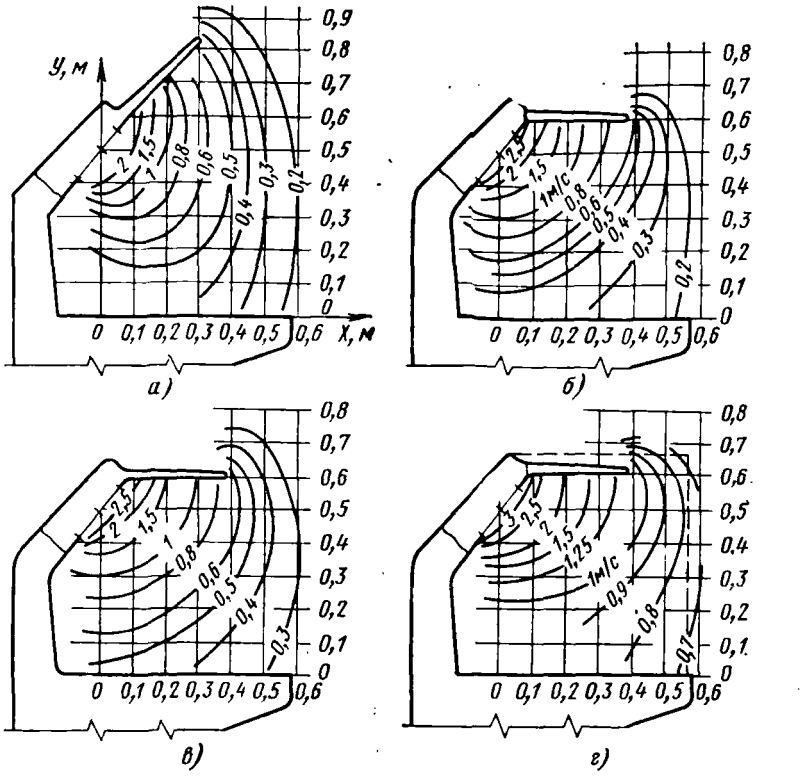


Рис. 15. Спектры всасывания бокового отсоса стола сварщика, оборудованного вытяжной решеткой длиной 560 мм с трапецеидными щелями:

а — спектр при установке козырька под углом 45° (L = 1600 м³/ч); *б* и *в* — спектры при горизонтально установленном козырьке: L = 1200 м³/ч и L = 1600 м³/ч соответственно; ($\Phi = 3/4\pi$); *г* — спектр при установке по краям панели боковых щитков (L = 1600 м³/ч)

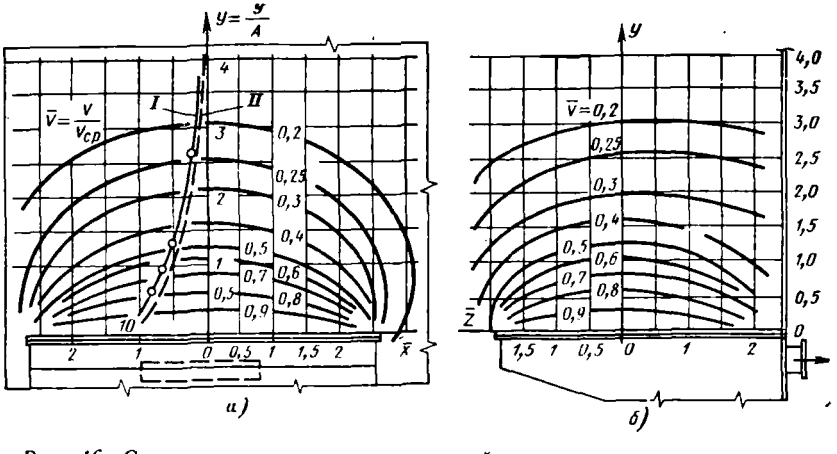


Рис. 16. Спектры всасывания вытяжной решетки стола размером 1000×700 мм при установке одностороннего экрана (по взаимно перпендикулярным осям):

I — закономерность уменьшения осевой скорости в спектре решетки с экраном; *II* — уменьшение скорости для решетки без экрана; *а* — по длинной стороне решетки; *б* — по короткой стороне решетки

живания плоскостью воздушного потока непосредственно по оси вытяжного патрубка скорости воздуха уменьшаются, а у краев патрубка возрастают.

Используя метод наложения потенциальных потоков В. Н. Талиева [26], можно теоретически определить выражения для составляющих скорости (в м/с) в рассматриваемой точке спектра при наличии горизонтальной плоскости (см. рис. 24):

$$v_x = -\frac{L_{уд}}{\varphi}\left[\frac{x}{x^2+(y-H)^2}+\frac{x}{x^2+(y+H)^2}\right]; \qquad (21)$$

$$v_y = \frac{L_{уд}}{\varphi}\left[\frac{y-H}{x^2+(y-H)^2}+\frac{y+H}{x^2+(y+H)^2}\right], \qquad (22)$$

где $L_{уд}$ — удельный расход воздуха, приходящийся на 1 м вытяжной щели (отверстия), м³/с · м; φ — зона всасывания, рад; H — высота расположения центра всасывающего отверстия над горизонтальной плоскостью, м (см. рис. 24).

Абсолютная скорость воздуха (в м/с) в рассматриваемой точке

$$v_{вс} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}. \qquad (23)$$

Ниже в этом разделе приведен пример определения скорости воздуха в точке спектра всасывания по формулам (21) — (23).

В наиболее сложных случаях для построения спектров целесообразно прибегать к аэродинамическому моделированию. Важно отметить, что при турбулентном режиме течения спектры всасывания становятся автомодельными, т. е. для геометрически подобных конструкций отсосов спектры всасывания одинаковы и не зависят от расхода удаляемого воздуха. Это позволяет использовать данные эксперимента для решения ряда практических задач местной вентиляции, помогая определять величины эффективных расходов скоростей удаляемого воздуха.

Авторами получен ряд полей скоростей бокового отсоса стола сварщика (рис. 15). Из сравнения рис. 15, *а* и 15, *в* видно, что при изменении угла наклона козырька φ (уменьшении зоны всасывания) скорости в спектре всасывания повышаются, особенно в зоне, расположенной под козырьком. Повышение скоростей точно соответствует увеличению количества удаляемого воздуха (рис. 15, *б* и 15, *в*). Существенно возрастают (примерно в 2 раза) величины скоростей воздуха в зоне действия боковой панели при установке ограничивающих плоскостей по краям стола (рис. 15, *г*). Значительно также влияние ограждающих плоскостей на интенсивность нижних отсосов. На рис. 16 кривая *I* показывает закономерность убывания относительной осевой скорости в спектре при установке экрана с тыльной стороны решетки стола. Пунктирная кривая *II* показывает убывание осевой скорости в спектре решетки без экрана. Установка экрана способствует увеличению скоростей воздуха в зоне всасывания. Рекомендуется устанавливать столы сварщика с нижними отсосами у стен цеха или вплотную к стенкам кабин. Это позволит уменьшить необходимый расход воздуха.

Обозначив среднюю скорость воздуха в плоскости вытяжного отверстия патрубка v_0 и учтя, что

$$L_0 = \frac{\pi d_0^2 v_0}{4}, \tag{13}$$

получим приближенное выражение для определения относительной скорости воздуха в зоне всасывания цилиндрического патрубка на расстоянии x:

$$\bar{v} = \frac{v_{вс}}{v_0} = \frac{\pi d_0^2}{4 \cdot 4\pi x^2} = 0{,}06\left(\frac{d_0}{x}\right)^2. \tag{14}$$

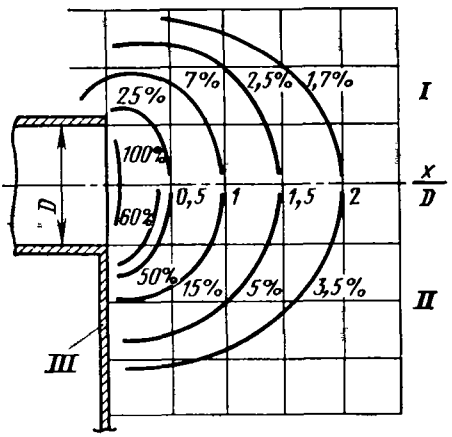


Рис. 14. Скорости воздуха в зоне всасывания круглого отверстия:
I — поле скоростей воздуха в спектре всасывания без экрана; *II* — спектр всасывания круглого отверстия с плоским экраном; *III* — плоский экран (цифры на кривых — процент скорости в спектре всасывания от первоначальной скорости v_0)

Как следует из формулы (14), скорость воздуха в спектре всасывания убывает обратно пропорционально квадрату расстояния до рассматриваемой точки, и на расстоянии, равном одному диаметру, уменьшается примерно в 16 раз, а на расстоянии двух диаметров — в 64 раза (рис. 14).

Длинную всасывающую щель можно рассматривать как линейный сток длиной l_0. Поверхности равных скоростей в зоне всасывания будут цилиндрическими. Поэтому

$$v_{вс} = \frac{L_0}{F_ц} = \frac{L_0}{2\pi x l_0}. \tag{15}$$

Обозначив ширину всасывающей щели $2b_0$ и учитывая, что $L_0 = 2\, b_0 l_0 v_0$, получим выражение для определения относительных скоростей в зоне всасывания щели

$$\bar{v} = \frac{v_{вс}}{v_0} = \frac{2b_0 l_0}{2\pi x l_0} = \frac{2b_0}{2\pi x} = 0{,}16\,\frac{2b_0}{x}. \tag{16}$$

По экспериментальным данным, скорость в спектре всасывания у щелевого отсоса на расстоянии полуширины щели b_0 примерно в 6 раз меньше скорости v_0, а на расстоянии, равном ширине щели ($2\, b_0$), уменьшается в 12 раз.

Для прямоугольных всасывающих отверстий удобно пользоваться формулой

$$\frac{v_{вс}}{v_0} = k_{вс}\frac{2b_0}{x}, \qquad (17)$$

где $k_{вс}$ — коэффициент пропорциональности, зависящий от условий подтекания воздуха и соотношения сторон отверстия. По формулам (14) и (16) можно получить достаточно точный результат при величинах $x > 0{,}5\ d_0$ для круглых и квадратных отверстий и при $x > b_0$ для вытяжных отверстий прямоугольной формы. При необходимости определить скорость в точках спектра, расположенных ближе указанных расстояний, осевую относительную скорость рекомендуется определять по формулам И. А. Шепелева и И. Г. Тягло [32]:

для круглого патрубка диаметром d_0

$$\frac{v_{вс}}{v_0} = 1 - \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{d_0}{2x}\right)^2}}; \qquad (18)$$

для всасывающего щелевидного отверстия шириной $2\ b_0$

$$\frac{v_{вс}}{v_0} = \frac{2}{\pi}\operatorname{arctg}\frac{b_0}{x}; \qquad (19)$$

для прямоугольного отверстия размером $2\ a_0 \times 2\ b_0$

$$\frac{v_{вс}}{v_0} = \frac{2}{\pi}\operatorname{arctg}\frac{1}{\frac{x}{a_0}\sqrt{\left(\frac{x}{b_0}\right)^2+\left(\frac{a_0}{b_0}\right)^2+1}}. \qquad (20)$$

Можно пользоваться также данными экспериментальных исследований (см. например, рис. 14, 15).

Большое влияние на величину скоростей в спектрах всасывания оказывают ограничивающие плоскости, расположенные вблизи всасывающих отверстий. Если ограничивающие плоскости устанавливаются непосредственно возле всасывающего отверстия перпендикулярно его оси, то существенное влияние они будут оказывать при значениях их ширины, превышающих d_0 (для круглых патрубков или равных величине меньшей стороны $2\ b_0$ (для прямоугольных отверстий). Так, при расположении всасывающего отверстия в плоской стенке зона всасывания уменьшается в 2 раза и соответственно в 2 раза увеличивается величина скоростей воздуха в спектрах (см. рис. 14). Если ограничивающая плоскость установлена не в плоскости вытяжного отверстия, а на некотором расстоянии от него, то ее влияние на интенсивность скоростей уменьшается, и при удалении более чем на $^1/_4 d_0$ (или $^1/_2 b_0$) становится практически несущественным. При расположении ограничивающей плоскости параллельно оси вытяжного патрубка происходит значительное изменение направлений подтекающего воздуха. Вследствие подторма-

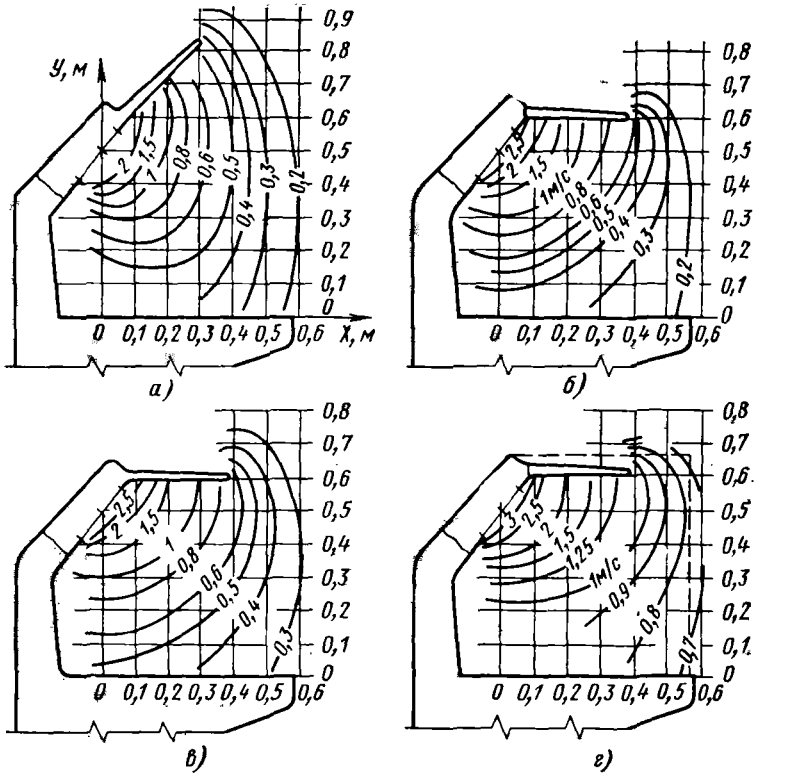


Рис. 15. Спектры всасывания бокового отсоса стола сварщика, оборудованного вытяжной решеткой длиной 560 мм с трапециевидными щелями:

а — спектр при установке козырька под углом 45° (L = 1600 м³/ч); *б* и *в* — спектры при горизонтально установленном козырьке: L = 1200 м³/ч и L = 1600 м³/ч соответственно; (Φ = 3/4π); *г* — спектр при установке по краям панели боковых щитков (L = 1600 м³/ч)

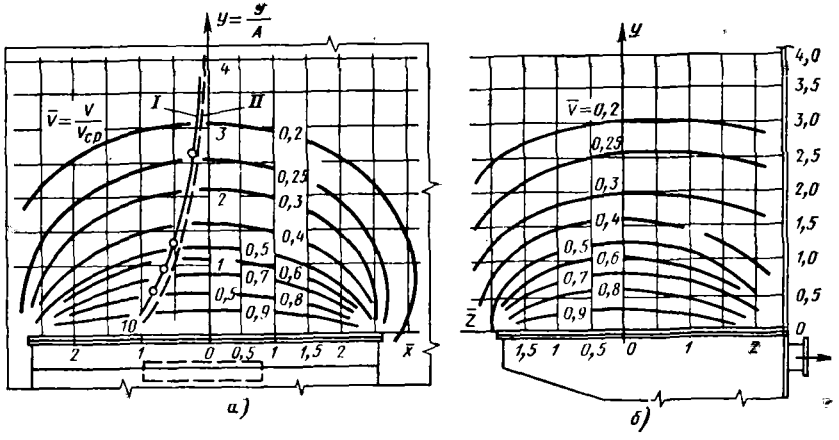


Рис. 16. Спектры всасывания вытяжной решетки стола размером 1000×700 мм при установке одностороннего экрана (по взаимно перпендикулярным осям):

I — закономерность уменьшения осевой скорости в спектре решетки с экраном; *II* — уменьшение скорости для решетки без экрана; *а* — по длинной стороне решетки; *б* — по короткой стороне решетки

живания плоскостью воздушного потока непосредственно по оси вытяжного патрубка скорости воздуха уменьшаются, а у краев патрубка возрастают.

Используя метод наложения потенциальных потоков В. Н. Талиева [26], можно теоретически определить выражения для составляющих скорости (в м/с) в рассматриваемой точке спектра при наличии горизонтальной плоскости (см. рис. 24):

$$v_x = -\frac{L_{уд}}{\varphi}\left[\frac{x}{x^2+(y-H)^2}+\frac{x}{x^2+(y+H)^2}\right]; \qquad (21)$$

$$v_y = \frac{L_{уд}}{\varphi}\left[\frac{y-H}{x^2+(y-H)^2}+\frac{y+H}{x^2+(y+H)^2}\right], \qquad (22)$$

где $L_{уд}$ — удельный расход воздуха, приходящийся на 1 м вытяжной щели (отверстия), м³/с · м; φ — зона всасывания, рад; H — высота расположения центра всасывающего отверстия над горизонтальной плоскостью, м (см. рис. 24).

Абсолютная скорость воздуха (в м/с) в рассматриваемой точке

$$v_{вс} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}. \qquad (23)$$

Ниже в этом разделе приведен пример определения скорости воздуха в точке спектра всасывания по формулам (21) — (23).

В наиболее сложных случаях для построения спектров целесообразно прибегать к аэродинамическому моделированию. Важно отметить, что при турбулентном режиме течения спектры всасывания становятся автомодельными, т. е. для геометрически подобных конструкций отсосов спектры всасывания одинаковы и не зависят от расхода удаляемого воздуха. Это позволяет использовать данные эксперимента для решения ряда практических задач местной вентиляции, помогая определять величины эффективных расходов скоростей удаляемого воздуха.

Авторами получен ряд полей скоростей бокового отсоса стола сварщика (рис. 15). Из сравнения рис. 15, *а* и 15, *в* видно, что при изменении угла наклона козырька φ (уменьшении зоны всасывания) скорости в спектре всасывания повышаются, особенно в зоне, расположенной под козырьком. Повышение скоростей точно соответствует увеличению количества удаляемого воздуха (рис. 15, *б* и 15, *в*). Существенно возрастают (примерно в 2 раза) величины скоростей воздуха в зоне действия боковой панели при установке ограничивающих плоскостей по краям стола (рис. 15, *г*). Значительно также влияние ограждающих плоскостей на интенсивность нижних отсосов. На рис. 16 кривая *I* показывает закономерность убывания относительной осевой скорости в спектре при установке экрана с тыльной стороны решетки стола. Пунктирная кривая *II* показывает убывание осевой скорости в спектре решетки без экрана. Установка экрана способствует увеличению скоростей воздуха в зоне всасывания. Рекомендуется устанавливать столы сварщика с нижними отсосами у стен цеха или вплотную к стенкам кабин. Это позволит уменьшить необходимый расход воздуха.

Исследования влияния конечных размеров решетки бокового отсоса типа панели на величину скоростей воздуха в спектре проведены авторами на модели (рис. 17). Вытяжная решетка *1* размером 800 × 80 мм имела длину 10 калибров (в качестве характерного размера принималась высота решетки $b = 80$ мм) и устанавливалась в одной плоскости со щитом *2*, наклоненным под углом 45° к горизонту. Для регулирования зоны всасывания над решеткой устанавливался подвижный козырек *3*. Изучались спектры отверстий с от-

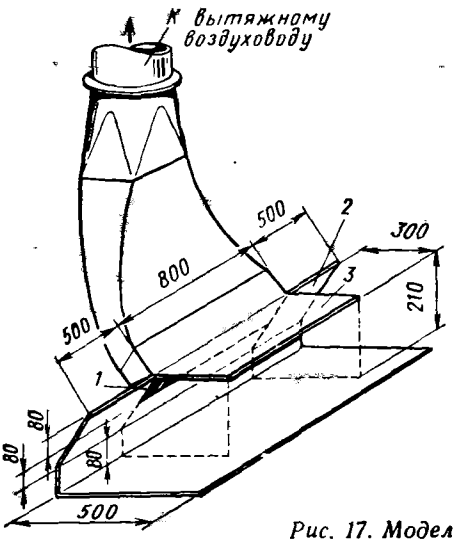




Рис. 18. График для определения поправочного коэффициента K_l в зависимости от относительной длины решетки отсоса $\bar{l}$ и величины зоны всасывания φ:

1—$\varphi = \frac{3}{4}\pi$; *2*—$\varphi = \pi$; *3* — $\varphi = \frac{3}{2}\pi$

Рис. 17. Модель местного отсоса для исследования спектров всасывания отверстий конечных размеров

носительными размерами от 0,5 до 10 калибров. Контрольная точка располагалась на оси панели, удаленной от вытяжной решетки плоскости. Имитировался также спектр всасывания решетки «бесконечной» длины путем установки боковых щитков. Установлено, что скорости воздуха в спектрах отверстий конечной длины меньше, чем скорости в спектрах бесконечной длины при $L_{уд} = \text{const}$. Проведено сравнение расходов удаляемого воздуха при изменении величины зоны всасывания φ и относительных размеров решеток $\bar{l}$. Найден безразмерный поправочный коэффициент K_l (рис. 18). Нанесенные на графике экспериментальные кривые при $\varphi = 3/4\pi$; π и $3/2\ \pi$ представляют собой величины отношения расхода воздуха для решетки конечных размеров к расходу воздуха при решетке бесконечной длины. Для того, чтобы найти фактическую скорость в спектре решетки конечной длины, необходимо найденное значение скорости в точке спектра отверстия бесконечной длины разделить на значение K_l, соответствующее данным $\bar{l}$ и φ.

Рис. 18 показывает, что наиболее различаются скорости в спектрах отверстий размерами от одного до трех калибров. Полученные

экспериментальные данные использованы в расчетах местных отсосов (см. п. 3 гл. IV).

Анализ спектров всасывания отверстий конечных размеров показывает, что максимальные скорости наблюдаются по оси вытяжного патрубка (см. рис. 14). По мере перемещения рассматриваемой точки спектра к краям скорости воздуха уменьшаются, так как к крайним отверстиям решетки воздух подтекает не только спереди, но и из окружающего пространства. Поэтому для обеспечения эффективной работы местного отсоса необходимо крайние щели всасывающих решеток делать примерно в 2 раза шире, чем средние. При разработке отсосов для столов сварщика такое конструктивное решение дало хороший результат.

Известны работы Г. Д. Лифшица [13, 14] в области теории спектров всасывания, которые основаны на методе особенностей, базирующемся на теоретических закономерностях потенциальных течений. Автор предложил методику составления систем уравнений, решаемых с помощью ЭЦВМ, в результате чего определяются значения функций тока и величины скоростей воздуха в точках спектра.

Пример 1. Определить скорость воздуха в точке спектра с координатами $x = 0{,}5$ м, $y = 0{,}3$ м (см. рис. 15, *г*). Вытяжная панель имеет длину 0,56 м, $H = 0{,}5$ м; козырек установлен горизонтально, по краям панели стоят боковые щитки, расход удаляемого боковым отсосом воздуха $L_б = 1600$ м³/ч Величина зоны всасывания $\varphi = \frac{3}{4}\pi = 2{,}36$ радиан. Удельный расход воздуха

$$L_{уд} = \frac{1600}{3600 \cdot 0{,}56} = 0{,}8 \text{ м}^3/\text{с} \cdot \text{м}.$$

Определяем значения составляющих абсолютной скорости в заданной точке по формулам (21) и (22):

$$v_x = -\frac{L_{уд}}{\varphi}\left[\frac{x}{x^2+(y-H)^2} + \frac{x}{x^2+(y+H)^2}\right] = -\frac{0{,}8}{2{,}36} \times$$

$$\times\left[\frac{0{,}5}{0{,}25+(0{,}3-0{,}5)^2} + \frac{0{,}5}{0{,}25+(0{,}3+0{,}5)^2}\right] = -0{,}5 \text{ м/с};$$

$$v_y = \frac{L_{уд}}{\varphi}\left[\frac{y-H}{x^2+(y-H)^2} + \frac{y+H}{x^2+(y+H)^2}\right] =$$

$$= \frac{0{,}8}{2{,}36}\left[\frac{0{,}3-0{,}5}{0{,}25+(0{,}3-0{,}5)^2} + \frac{0{,}3+0{,}5}{0{,}25+(0{,}3+0{,}5)^2}\right] = 0{,}3 \text{ м/с}.$$

По найденным величинам v_x и v_y определяем абсолютную величину скорости в интересующей нас точке зоны всасывания по формуле (23):

$$v_{вс} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{0{,}25 + 0{,}09} = 0{,}6 \text{ м/с}.$$

Найденная величина скорости хорошо согласуется с экспериментальной $v_{вс.э} = 0{,}82$ м/с (см. рис. 15, *г*).

Если данная вытяжная панель будет работать без боковых щитков, величину скорости (в м/с) следует определять по формуле $v'_{вс} = v_{вс}/K_l$, где K_l определяется при $\bar{l} = 3$ по кривой *1* (рис. 18); $K_l = 2{,}5$. Тогда величина расчетной скорости в заданной точке будет 0,24 м/с, экспериментальной — 0,39 м/с (см. рис. 15, *в*).

Пример 2. Определить эффективный расход воздуха для точки сварки, расположенной на оси вытяжного цилиндрического патрубка $d_0 = 0{,}1$ м на расстоянии 0,15 м, если известна необходимая скорость воздуха $v_x = 0{,}5$ м/с.

По спектру всасывания (см. рис. 14) в зоне I для $\overline{x} = \frac{0.15}{0.1} = 1{,}5$ находим значение $\overline{v}_x = 0{,}025$ (2,5 %).

Средняя скорость во всасывающем отверстии патрубка

$$v_0 = \frac{v_x}{\overline{v}_x} = 0{,}5/0{,}025 = 20 \text{ м/с}.$$

Необходимый расход воздуха

$$L_0 = 3600 f_0 v_0 = 3600 \cdot 0{,}00785 \cdot 20 = 564 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

3. ОСНОВЫ РАСЧЕТА МЕСТНЫХ ОТСОСОВ

В зависимости от конструктивных особенностей (стационарные, переносные, малогабаритные и т. д.), а также от аэродинамических особенностей, характеризующих условия подтекания воздуха к всасывающим отверстиям, различают следующие местные отсосы: простые или активированные приточными струями; по направлению удаления вредных веществ; по степени ограничения зоны всасывания; по возможности регулирования расположения воздухоприемного отверстия.

В *простых* отсосах применяются пылегазоприемники, присоединяемые к вытяжным вентиляционным установкам или системам. За счет создаваемого ими разрежения у воздухоприемного отверстия (панели) местного отсоса образуется зона всасывания со скоростями, достаточными для улавливания вредных выделений.

В *активированных* отсосах в дополнение к всасывающему устройству применяется приточная струя (или система струй), которая поддувает вредные выделения к вытяжному отверстию или выполняет роль воздушной завесы, препятствующей их прорыву в производственное помещение. На рис. 19 представлено несколько схем активированных отсосов.

По схеме (рис. 19, *а*) в корпусе, разделенном внутренней перегородкой, находятся местный отсос и приточное устройство, создающее шиберующую воздушную струю, направленную под углом сверху вниз на рабочего. Выдвижной щиток над отсосом позволяет эффективно регулировать величину зоны всасывания. Кроме шиберующего эффекта, приточная струя, подавая непрерывно в зону дыхания сварщика чистый воздух, создает нормальные метеорологические условия для рабочего.

Схема (рис. 19, *б*) разработана и проверена экспериментально фирмой Delventa1 B. и König R [37]. Струя приточного воздуха, подаваемая спереди под небольшим углом вдоль поверхности стола, позволяет удалять загрязненный воздух от лица сварщика, направляя его вдоль задней стенки к верхнему вытяжному патрубку. Эксперимент показал, что задняя стенка должна быть профилированной, чтобы избежать вихреобразования и рассеивания вредных

веществ. Схема пригодна только при сварке мелких деталей небольшой высоты.

Схема (рис. 19, *в*) разработана в лаборатории охраны труда НИИСТ (г. Киев). Над вытяжной решеткой стола сварщика выше рабочей зоны размещена приточная панель, создающая равномерный поток воздуха вниз к отсосу. Образующиеся вредные вещества опрокидываются и улавливаются нижним отсосом. Зона дыхания рабочего находится в потоке чистого приточного воздуха. Если свариваемое изделие перекрывает более 75% площади щелей решетки или при значительной высоте изделия, когда верхняя его плоскость расположена горизонтально, эффективность отсоса резко снижается. Сдувающая приточная струя ударяется о плоскость детали и, увлекая вредные вещества, уходит в помещение.

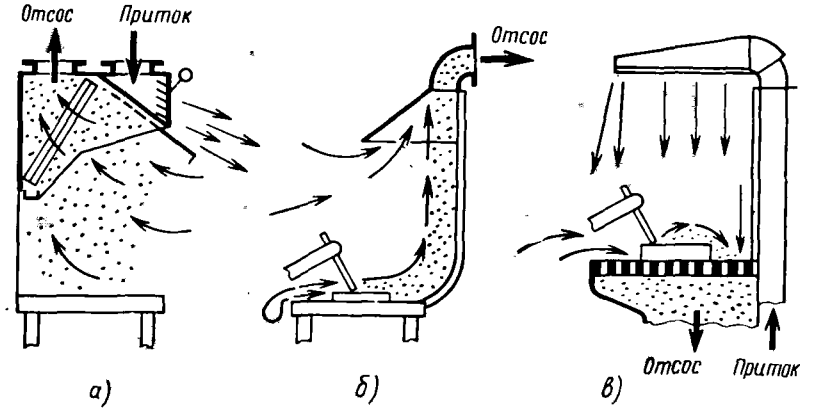


Рис. 19. Схемы активированных местных отсосов:

а — типа МВО-420 с подачей воздушной струи шиберующего типа; *б* — с подачей струи воздуха вдоль поверхности стола; *в* — стол для сварки конструкции НИИСТ (положение приточной панели может регулироваться)

Активированные отсосы не получили широкого распространения в сварочных цехах в основном из-за необходимости дополнительного подвода чистого приточного воздуха, однако применение их для местной вентиляции является, на наш взгляд, перспективным.

По направлению удаления вредных веществ различают нижние, боковые и верхние отсосы.

Нижние отсосы, выполняемые в виде решетчатых поверхностей столов, опрокидывают факел вредных веществ вниз, не давая ему достичь зоны дыхания сварщика. В гигиеническом отношении они являются самыми рациональными, однако значительные скорости воздуха, необходимые для опрокидывания вредных веществ, требуют больших расходов для нижних отсосов, особенно при большой высоте свариваемых изделий. Нижние отсосы эффективны при сварке мелких и средних деталей высотой до 100—150 мм.

Боковые отсосы выполняют в виде отверстий или панелей, устанавливаемых со стороны, противоположной рабочему месту сварщика. Они создают зону всасывания, отклоняющую факел вредных

веществ в сторону отсоса. Различные конструкции боковых отсосов широко применяются в производстве чаще всего для улавливания вредных веществ на фиксированных рабочих местах (см. рис. 3 и 5).

Верхние отсосы выполняют в виде воронок или зонтов. По расходу воздуха эти отсосы экономичны, так как направление движения отсасываемого воздуха совпадает с направлением движения загрязненного факела (вверх), скорости воздуха в зоне отсоса минимальны. Однако как указывалось ранее, поднимающиеся вредные вещества могут проходить через зону дыхания сварщика, что является существенным недостатком верхних отсосов.

Часто применяют комбинированные отсосы, например, нижний и боковой. При соответствующих средствах регулирования работы отсосов такие решения дают хороший результат.

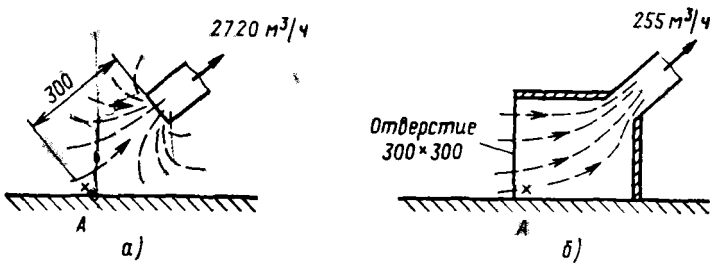


Рис. 20. Расходы воздуха для обеспечения скорости 0,25 м/с в спектре всасывания при различных типах ограждений:
а — открытый отсос; б — закрытый отсос

Большое значение для повышения эффективности местных отсосов имеет ограничение зоны всасывания плоскостями. Это позволяет уменьшить зону всасывания, повысить скорости движения воздуха и обеспечить более интенсивный отсос вредных веществ. По степени экранирования зоны всасывания различают закрытые отсосы (шкафного типа) и открытые отсосы [8]. Схемы отсосов показаны на рис. 20.

В некоторой условной точке A (на рис. 20 она отмечена крестиком) требовалось обеспечить скорость 0,25 м/с. При этом для открытого отсоса (рис. 20, *а*), расположенного от указанной точки на расстоянии 300 мм, потребовался расход воздуха 2720 м³/ч, а для закрытого отсоса (рис. 20, *б*) с проемом 300 × 300 мм — 255 м³/ч, т. е. почти в 11 раз меньше.

Местные отсосы *закрытого типа* выполняют в виде шкафов, внутри которых производится сварка мелких изделий. Открытыми остаются небольшие рабочие проемы, через которые внутрь шкафа всасывается воздух. Согласно рекомендациям [5] в зависимости от технологии процесса скорости воздуха в проемах могут изменяться от 0,3—0,5 до 1,5—2,5 м/с.

Расход воздуха, удаляемого от укрытия, определяется по формуле

$$L_0 = 3600\ v_п F_п,\ м^3/ч,$$

где $F_п$ — суммарная площадь открытых проемов и неплотностей, м²;
$v_п$ — скорость воздуха в проемах или отверстиях, м/с.

Весьма эффективным способом в ряде случаев является подача в укрытие струи воздуха, интенсифицирующей удаление вредных веществ [42, рис. 4.3]. Преимуществом закрытых отсосов является незначительное влияние на их эффективность подвижности окружающего воздуха в производственных помещениях.

Отсосы *открытого типа* выполняют в виде панелей или патрубков, не имеющих ограждающих плоскостей. Отсосы просты по конструкции, однако подвержены влиянию подвижности окружающего воздуха. Отсосы этого типа применяют при ручной, полуавтоматической и автоматической сварке (см. п 4 гл. IV). Всасывающее отверстие выполняется в виде патрубка круглого или прямоугольного сечения, кольцевой щели или перфорации из мелких отверстий, размещенных вокруг сварочной головки. Скорости воздуха в вытяжных отверстиях могут быть значительными (20—40 м/с), при этом в зоне сварки не должно нарушаться качество газовой защиты.

Преимуществом открытых отсосов является их компактность и возможность размещения на небольшом расстоянии от точки сварки. Если местный отсос стационарно закреплен на сварочной головке или сварочном оборудовании на определенном расстоянии от сварочной дуги (минимально 20—25 мм), то расход воздуха будет небольшим, как правило, до 100—150 м³/ч. При таких расходах можно использовать воздуховоды небольшого сечения.

Установка ограждающих плоскостей улучшает работу отсоса. Например, отсос (см. рис. 3, *а*) может быть выполнен в виде вытяжной панели, установленной над столом для сварки, а дополнительными ограждающими плоскостями являются стенки кабины и козырек.

В отсосах различных типов можно повысить их эффективность регулированием места расположения всасывающего отверстия — из глубины укрытия, у передней его кромки и т. д.

Нерегулируемые местные отсосы применяют, если на данном рабочем месте постоянно выполняются одни и те же операции или условия технологического процесса изменяются незначительно (например, свариваются только мелкие детали). Местный отсос рассчитывается по заданным параметрам технологического процесса и в этом узком диапазоне оказывается эффективным. Однако в ряде случаев, когда на рабочем месте выполняются различные операции, целесообразно перестраиваться при определенном изменении технологии. Чаще всего местные отсосы выполняют подвижными, способными перемещаться в заданной зоне, и располагают их как можно ближе к точке сварки. Примером отсоса указанного типа являются хорошо известные подвижные пылегазоприемники ЛИОТ-1 и ЛИОТ-2, описанные выше (п. 3 гл. III).

Для столов сварщика ВИСПом разработана панель с изменяемым углом наклона (см. рис. 51). При большой длине стола панель может быть выполнена из нескольких секций с клапанами в каждой

из них, что значительно повышает возможности регулирования работы отсоса.

Схема работы другой регулируемой панели показана на рис. 21. При сварке в верхней части изделия подвижный щиток *3* опускается вниз, обеспечивая интенсивный отсос вредных веществ из верхней зоны, а при сварке нижней части изделия щиток перемещается вверх, способствуя созданию зоны эффективного отсоса в нижней части рабочей зоны. По данным разработчиков, указанный местный отсос обеспечивает снижение расходов на электроэнергию и тепло до 5000 р в год.

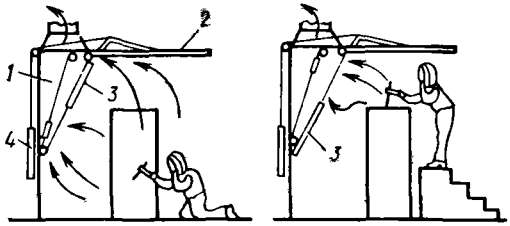


Рис. 21. Регулируемая вытяжная панель:
1 — корпус панели; *2* — козырек; *3* — подвижный щиток; *4* — груз

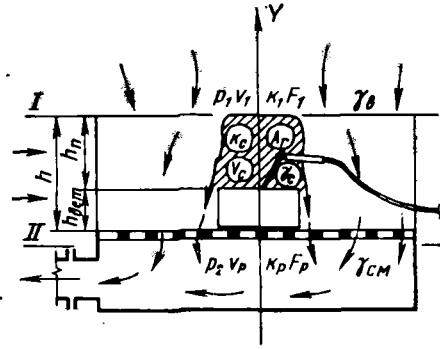


Рис. 22. Схема к расчету нижнего отсоса при улавливании сварочного факела

Ряд конструкций местных отсосов с автоматическим перемещением в рабочей зоне разработан СПКИ (г. Одесса). Схема местного отсоса с управляющими фотоэлементами показана ниже на рис. 57. Небольшая вытяжная панель укреплена на подвижном воздуховоде и снабжена по бокам фотоэлементами. При перемещении точки сварки в сторону фотоэлементы выдают команду на механизм перемещения панели, обеспечивая перестановку местного отсоса к сварочной дуге и способствуя удалению токсичных газов и пыли. В ряде случаев такое устройство может оказаться полезным, стоимость данной конструкции невысока.

Наиболее эффективными при сварке и тепловой резке являются два способа локализации вредных веществ.

Улавливание вредных веществ нижним отсосом. В этом случае загрязненный поток опрокидывается вниз к вытяжной панели, не проходя через зону дыхания рабочего. Сварочный факел поднимается над плоскостью свариваемого изделия, образуя клуб дыма, затем на некотором удалении от точки сварки он поворачивается вниз к вытяжной решетке и затягивается в отверстия местного отсоса (рис. 22).

Отклонение факела вредных веществ от лица сварщика при помощи бокового отсоса, выполненного в виде вытяжной панели, или

всасывающего патрубка. Сварочный факел, поднимающийся вверх, потоком подтекающего к местному отсосу воздуха постепенно отклоняется вместе с вредными веществами в сторону всасывающих отверстий. При достаточных скоростях (0,25—0,5 м/с) загрязненный факел полностью улавливается местным отсосом. Как видно на рис. 77, в процессе взаимодействия с местным отсосом сварочный факел деформируется, становится не круглым, а плоским. Непосредственно у всасывающих отверстий периферийные струйки факела размываются подтекающим воздухом и остается только ядро с большими концентрациями вредных веществ.

В работах ряда авторов (например, Л. В. Кузьминой, Т. А. Фиалковской) процессы взаимодействия факела вредных веществ с различными типами местных отсосов описываются сложными зависимостями, при этом вводится ряд допущений, не всегда позволяющих получить желаемый результат применительно к сварке.

Авторами на основании анализа действующих сил получены решения, позволяющие определить эффективные расходы воздуха для нижнего и бокового отсосов с учетом геометрических размеров отсоса, положения точки сварки и мощности сварочной дуги (для электродуговой сварки плавящимся электродом).

Для расчета **нижнего подрешетчатого отсоса** выделен контур и составлена схема взаимодействия потоков для составления уравнения количества движения в проекции на вертикальную ось (см. рис. 22). В начальном участке сварочного факела скоростьобозначена v_c, плотность γ_c и площадь факела F_c. В рассматриваемом уравнении количества движения в отличие от других решений учитывается подъемная сила в сварочном факеле A. Уравнение имеет вид

$$p_1 F_1 + A + p_2 (F_{реш} - F_{дет}) = -k_2 - \frac{1}{2} k_c + k_1, \qquad (24)$$

где p_1 — разрежение в сечении $I - I$, Па, равное динамическому давлению, подсчитанному по скорости v_1; A — подъемная сила в конвективном потоке, равная $A = \Delta\gamma_c h_п F_c$, Н; p_2 — разрежение у вытяжной решетки в сечении $II - II$, Па; $h_п$ — высота подъема факела над поверхностью детали, м; k_1 и k_2 — количества движения воздуха в сечениях $I - I$ и $II - II$, Н; k_c — количество движения воздуха в начальном сечении конвективного потока, Н.

Раскрывая содержание отдельных членов уравнения (24), получим

$$\frac{v_1^2}{2g} \gamma_в F_1 + \Delta\gamma_c h_п F_c - \frac{1{,}5 v_p^2}{2g} \gamma_{см} (F_{реш} - F_{дет}) =$$

$$= -\frac{v_p^2}{g} \gamma_c (F_{реш} - F_{дет}) - \frac{v_c^2}{2g} \gamma_c F_c + \frac{v_1^2}{g} \gamma_в F_1. \qquad (25)$$

В результате решения уравнения (25) определяем величину осевой скорости (в м/с) воздушного потока, обеспечивающей опрокиды-

вание факела;

$$v_1 = \sqrt{\frac{F_{\text{дет}}}{F_{\text{реш}}}\left(2gh_{\text{п}}\frac{\Delta\gamma_{\text{с}}}{\gamma_{\text{в}}} - v_{\text{с}}^2\frac{\gamma_{\text{с}}}{\gamma_{\text{в}}}\right)}. \qquad (26)$$

Скорость v_1 определяется рядом величин, характеризующих сварочный факел и отсос. По найденной величине опрокидывающей скорости и известным закономерностям спектров определить расход воздуха в решетке отсоса не представляет затруднений.

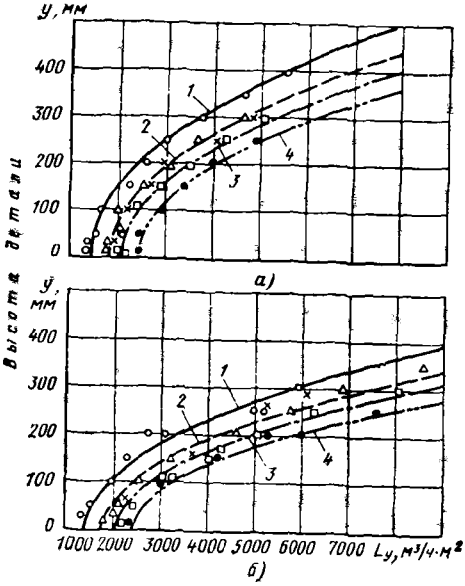


Рис. 23. Удельные эффективные расходы воздуха для столов с нижними отсосами:

а — решетка 1000×700 мм; *б* — решетка 700×500 мм. Ручная сварка: *1* — электроды ∅ 3 мм, $I_{\text{св}}$ = 110 А; *2* — электроды ∅ 4 мм, $I_{\text{св}}$ = 140 А; *3* — электроды ∅ 5 мм, $I_{\text{св}}$ = 190 А; *4* — электроды ∅ 6 мм, $I_{\text{св}}$ = 260 А; *х* — полуавтоматическая сварка в CO_2 проволокой ∅ 1,6 мм, $I_{\text{св}}$ = 250 А

Отметим, что абсолютная величина эффективной опрокидывающей скорости в точке сварки не зависит от высоты расположения детали над всасывающей решеткой. Это положение подтверждено экспериментально. Приняв, что высота подъема сварочного факела над точкой сварки (до опрокидывания) не должна превышать 0,1 м, были определены величины опрокидывающих скоростей при разной мощности сварочной дуги. Эксперименты показали, что величина опрокидывающей скорости v_1 для данного технологического процесса является постоянной. Например, при ручной сварке электродами ⌀ 3 мм при силе тока 110 А она равна 0,5 м/с, а при сварке электродами ⌀ 5 мм током силой 200 А — 0,67 м/с. С учетом полученных результатов построены графики для определения удельных эффективных расходов воздуха для столов с решетками размером 1000 × 700 и 700 × 500 мм (рис. 23). Номограмма для расчета нижних отсосов в зависимости от размеров решеток и мощности сварочной дуги дана в приложении 5. Нижние подрешеточные отсосы рекомендуется применять при сварке деталей высотой не более 100—150 мм. При этом свариваемая деталь не должна перекрывать больше 25—30% площади всасывающих отверстий решетки.

Пример пользования номограммой (приложение 5). Определить расход воздуха при ручной сварке деталей высотой 0,11 м электродами ⌀3 мм для стола с нижним отсосом размером 1000×700 мм. Подвижность воздуха в помещении 0,5 м/с.

Прежде всего по заданным размерам отсоса определяем эквивалентный диаметр вытяжной решетки, он равен 0,83 м (точка *1*). Затем, приняв долю конвективного тепла сварочного факела равной 10% общей тепловой мощности дуги, находим величину $Q_к = 330$ Вт. После этого отмечаем на левой части нижней шкалы высоту свариваемой детали $y = 0{,}11$ м (удаление точки сварки от поверхности вытяжной решетки) и проводим через указанную точку вверх вертикальную прямую до пересечения с прямой $D_{экв} = 0{,}83$ м (точка *2*). Из точки *2* проводим вправо горизонтальную линию до пересечения с кривой $Q_к = 330$ Вт (точка *3*), далее опускаемся по вертикали вниз и находим значение удельного расхода воздуха. Для заданных условий $L^н_{уд} = 2200$ м³/ч на 1 м² вытяжной решетки.

При определении эффективного расхода воздуха для нижнего отсоса необходимо учесть отрицательное влияние на работу отсоса подвижности воздуха в цехе. Поэтому по графикам рис. 25 найдем значение поправочного коэффициента $K^н_v$. При скорости сносящего потока $v_{сн} = 0{,}5$ м/с и высоте деталей $y = 0{,}11$ м величина $K^н_v = 1{,}12$.

Необходимый расход воздуха для нижнего отсоса размером 1000× 700мм

$$L_н = L^н_{уд} F_р K^н_v = 2200 \cdot 0{,}7 \cdot 1{,}12 = 1730 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Для расчета **боковых местных отсосов** использованы закономерности движения свободной неизотермической струи в боковом сносящем потоке [36]. Путем преобразования уравнения сил, воздействующих на струю, получено уравнение изогнутой оси струи в сносящем потоке в относительных координатах:

$$\bar{y} = K \sqrt[3]{I\bar{x} + \frac{1}{2} J\bar{x}^2},$$

где $K = \frac{2{,}11}{\sqrt{c_л c}}$ — безразмерный коэффициент, зависящий от коэффициента лобового сопротивления струи $c_л$ и коэффициента формы струи c; I и J — безразмерные комплексы, отражающие относительное влияние начального импульса и гравитационной силы на развитие струи [36].

Так как сварочный факел является конвективным потоком без начального импульса, выражение для $\bar{y}$ упрощается и записывается в виде

$$\bar{y} = K_{кон} \sqrt[3]{\frac{1}{2} J\bar{x}^2}. \qquad (27)$$

Поскольку пользоваться формулой (27) в относительных координатах для практических расчетов не совсем удобно и важнее учитывать основную определяющую величину сварочного факела — его конвективное тепло $Q_к$; преобразуем выражение комплекса J:

$$J = \frac{gD_0 v_с \Delta T_0}{T_w w^3} = \frac{4g\pi \frac{D_0^2}{4} v_с \gamma_0 c_{р0} \Delta T_0}{\pi D_0 \gamma_0 c_{р0} T_w w^3} = \frac{4gQ_к}{\pi D_0 \gamma_0 c_{р0} T_w w^3}. \qquad (28)$$

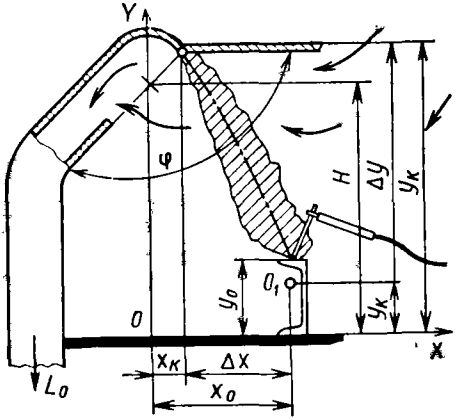


Рис. 24. Схема к расчету бокового отсоса сварочного поста

Подставляя полученное значение (28) в (27), после преобразования перейдем к абсолютным координатам (в м):

$$y = \frac{0{,}278 K_{кон}}{\omega} \sqrt[3]{\frac{Q_к x^2}{\gamma_с c_{р0}}}. \quad (29)$$

Координаты в формуле (29) привязаны к системе координат струи (рис. 24).

Расчетная схема для случая взаимодействия конвективного потока с местным боковым отсосом представлена на рис. 24. Центр вытяжной решетки расположен над плоскостью стола на высоте H, через центр решетки проходит ось Y, а ось X лежит в плоскости стола. Вместо величины скорости сносящего потока можно подставить значение составляющей скорости v_x по формуле (21). Подставив в выражение (23) значение из (21) и координаты конечной точки оси условленного факела $x_к$ и $y_к$ в плоскости вытяжной панели, можно получить величину эффективного расхода воздуха. Так как для вытяжных панелей конечных размеров следует учитывать поправочный коэффициент на длину отсоса K_l (см. рис. 18), значение удельного расхода воздуха (в м³/с · м) будет иметь вид

$$L^{б}_{уд} = \frac{0{,}278 K_{кон} K_l}{\frac{\Delta y}{\varphi}\left[\frac{x_к}{x_к^2+(y_к-H)^2}+\frac{x_к}{x_к^2+(y_к+H)^2}\right]} \sqrt[3]{\frac{Q_к \Delta x^2}{\gamma_0 c_{р0}}} =$$

$$= \frac{0{,}278 \varphi K_{кон} K_l}{\Delta y\left[\frac{x_к}{x_к^2+(y_к-H)^2}+\frac{x_к}{x_к^2+(y_к+H)^2}\right]} \sqrt[3]{\frac{Q_к \Delta x^2}{\gamma_0 c_{р0}}}. \quad (30)$$

Фактические скорости в спектрах всасывания отсосов, обеспечивающие эффективную локализацию вредных веществ, должны быть несколько больше расчетных, чтобы компенсировать влияние подвижности воздуха в цехах (сквозняков). Экспериментально определяется коэффициент запаса $K^{б}_{v}$, учитывающий это явление (величина его более единицы). Вспомогательный график для нахождения величины K_v для нижних и боковых отсосов приведен на рис. 25.

Результаты экспериментальной проверки эффективности действия боковой панели с решеткой 560 × 200 мм приведены на рис. 26. Центр вытяжной панели был расположен на высоте 0,5 м над столом. Анализ полученных данных показывает, что при высоте свариваемого

мых деталей до 400 мм расход воздуха изменяется незначительно, а для более высоких деталей расход резко возрастает. Особенность работы боковых отсосов заключается в следующем. Если точка сварки лежит выше центра отсоса, то при относительно небольших скоростях в зоне всасывания сварочный факел не успевает отклониться к отсосу. Поэтому в этом случае для улавливания вредных веществ скорости воздуха и, следовательно, расходы воздуха должны быть увеличены.

Из рис. 26 видно, что расход воздуха значительно возрастает при удалении точки сварки от местного отсоса. Величина расхода воздуха пропорциональна также силе сварочного тока. Сравним

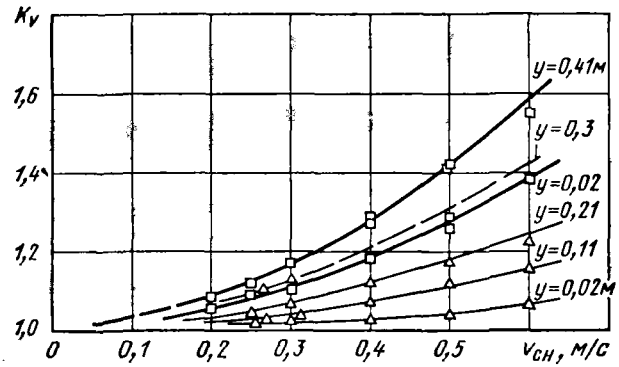


Рис. 25. График для определения коэффициента запаса K_v при работе нижних и боковых отсосов при сварке деталей разной высоты:
— боковые отсосы; —— нижние отсосы

например, величины эффективных расходов для электродов диаметром 3,5 и 6 мм при $x = 0{,}53$ м. Опытные данные показывают, что максимальные расходы необходимы при сварке электродами ⌀6 мм. При одинаковых значениях сварочного тока 250 А расходы воздуха при сварке в среде углекислого газа (точки отмечены крестиками) несколько больше, чем при ручной сварке электродами ⌀5 мм. Причина заключается в том, что при сварке в CO_2 величина $Q_к$ больше (см. п. 1 гл IV).

Видимо, существует оптимальное положение отсоса относительно точки сварки; центр боковой панели должен располагаться выше точки сварки примерно на 150 мм, при этом расход удавляемого воздуха будет минимальным.

Анализ опытных данных показывает, что на расход воздуха больше всего влияет удаление точки сварки от отсоса Δx (рис. 27). Поэтому для столов сварщиков с боковыми отсосами может быть предложена упрощенная формула

$$L_б = 70 l \varphi K_l K_v^6 \sqrt[3]{Q_к \Delta x^2}, \quad \frac{м^3}{ч}, \qquad (31)$$

где l — длина решетки вытяжной панели, м; $\varphi_б$ — величина зоны всасывания (см. рис. 24), радиан; K_l и $K_v^б$ — поправочные коэффициенты на относительные размеры панели и подвижность воздуха, которые находятся по графикам соответственно рис. 18 и 25; $Q_к$ — количество конвективного тепла, Вт.

Формула (31) справедлива в пределах $\Delta x = 0{,}1 \div 0{,}6$ м, $\varphi = 3/4\,\pi \div 3/2\,\pi$ и при силе сварочного тока до 630 А. При этом погрешность в определении эффективных расходов не превышает 10%.

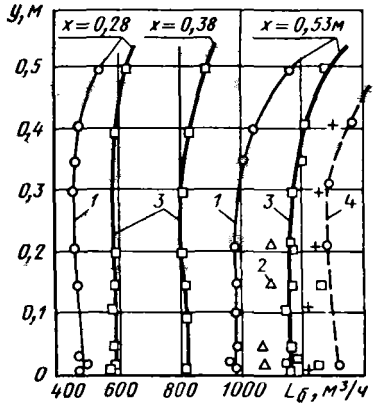


Рис. 26. Определение расходов воздуха для наклонной панели НИИСТ размером 560×200 мм при сварке ($\varphi = 3/4\,\pi$):

1 — электроды Ø 3 мм; *2* — электроды Ø 4 мм; *3* — электроды Ø 5 мм; *4* — электроды Ø 6 мм; + — полуавтоматическая сварка проволокой Ø 1,6 мм

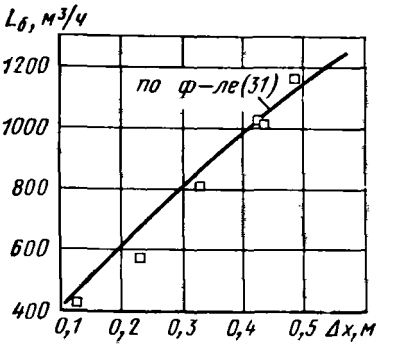


Рис. 27. Зависимость эффективного расхода воздуха от величины удаления точки сварки Δx для деталей высотой 0,15 м (электроды Ø 5 мм)

Пример. Определить расход воздуха, удаляемого панелью стола сварщика при ширине стола до 1250 мм. Принимаем высоту всасывающих щелей решетки панели 0,2 м, длину решетки панели — 1,2 м. На столах обычно ручная сварка производится при токе силой до 600 А. Поэтому количество конвективного тепла в сварочном факеле составит 10% общей тепловой мощности дуги:

$$Q_к = 1{,}022\, I_д U_д \cdot 0{,}1 = 0{,}1022 \times 600 \times 32 = 1920 \text{ Вт}.$$

При наличии над панелью козырька, установленного под углом 30° к горизонту, величина зоны всасывания π (или 3,14 радиан). При установке стола сварщика в кабине величина подвижности воздуха в рабочей зоне цеха не превышает обычно 0,25 м/с и поэтому $K_v^б = 1{,}1$ (см. рис. 25). На графике рис. 18 по кривой для $\varphi = \pi$ в зависимости от относительного размера $l = \frac{1{,}2}{0{,}2} = 6$ находим величину коэффициента $K_l = 1{,}25$. Затем по формуле (31) при $\Delta x = 0{,}4$ м определяем необходимое количество удаляемого воздуха

$$L_б = 70 \cdot 1{,}2 \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}25 \cdot 1{,}1 \sqrt[3]{1920 \cdot 0{,}4^2} = 2250 \text{ м}^3/\text{ч}. \qquad (32)$$

Приведенная методика расчета применялась ВИСПом при разработке ряда нижеописанных конструкций местных отсосов, встроенных в механическое сварочное оборудование.

Широко применяются воронкообразные отсосы, устанавливаемые сбоку от зоны сварки (рис. 28). На основании использования интегрального метода Л. Эйлера В. Р. Зайченко получена формула, позволяющая определить среднюю скорость воздуха v_0 в плоскости всасывающего отверстия:

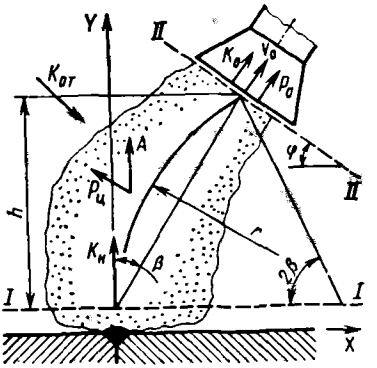


Рис. 28. Схема взаимодействия воронкообразного местного отсоса со сварочным факелом

$$v_0 = \bar{v}_ф \sqrt{\frac{\rho_ф F_ф \left[2\cos\varphi + \frac{2\beta}{\sin 3\beta}\cos\varphi - \cos(2\beta - \varphi)\right]}{\rho_0 F_0 (1-\xi)}}, \quad \frac{м}{с}, \qquad (33)$$

где $\bar{v}_{ср}$ — средняя по сечению скорость воздуха в разгонном участке сварочного факела (сечение *I — I* на рис. 28), м/с:

$$v_ф = \frac{v_m}{c_1}(1 - e^{-c_1}); \qquad (34)$$

c_1 — безразмерный коэффициент, зависящий от высоты y:

$$c_1 = 1{,}2\left(\frac{y}{D_ф}\right)^{-0{,}7}; \qquad (35)$$

$D_ф$ и $F_ф$ — соответственно диаметр и площадь (в м) сварочного факела в сечении *I — I*:

$$D_ф = 0{,}08 \lg l_д, \qquad (36)$$

$\rho_{ср}$ — средняя плотность газов в сварочном факеле в пределах разгонного участка, кг/м³, определяемая с учетом избыточной температуры Δt в рассматриваемом сечении; F_0 — площадь приемного отверстия отсоса, м²; ξ — коэффициент местного сопротивления воронкообразного отсоса; φ — угол наклона плоскости приемного отверстия отсоса к горизонтальной плоскости, радиан; β — угол между прямой, соединяющей центр всасывающего отверстия с точкой сварки и вертикалью, радиан.

Как видим, при определении эффективной скорости учитываются основные характеристики местного отсоса, положение точки сварки, а также характеристики сварочного факела. При расчете воронкообразных отсосов рекомендуется также вводить поправочный коэффициент $K_v^б$, учитывающий отрицательное влияние подвижности воздуха в производственном помещении.

Для определения расхода воздуха (в м/с), удаляемого от укрытия машин контактно-стыковой сварки, А.Г. Степановым получена формула

$$L_{\text{ук}} = \frac{(F_{\text{у}} - F_{\text{об}})^2 \left[(s - s_{\text{в}}) \pm \sqrt{(s - s_{\text{в}})^2 - \frac{4 S_{max}^2 G_{\text{м}}^2 q}{\tau^2 (1 + q v_{\text{пи}}^2)(F_{\text{у}} - F_{\text{об}})^2}} \right]}{\frac{2 S_{max} G_{\text{м}} q}{\tau (1 + q v_{\text{пи}}^2)}}, \tag{37}$$

где $F_{\text{у}}$ — площадь укрытия (кабины), м^2; $F_{\text{об}}$ — площадь укрытия, занимаемая сварочной машиной, м^2; s — предельно допустимая концентрация сварочного аэрозоля в атмосфере, мг/м^3; $s_{\text{в}}$ — концентрация сварочного аэрозоля в воздухе, поступающем в укрытие, мг/м^3; S_{max} — удельное пылеобразование при стыковой сварке, мг/кг; $G_{\text{м}}$ — масса расплавляемого металла, кг; q — коэффициент приращения удельного пылевыделения, с/м^2; τ — время оплавления изделия, с; $v_{\text{пи}}$ — скорость движения воздуха, при которой устанавливается постоянство пылевыделения, м/с.

Если знак дискриминанта отрицательный, то объем удаляемого воздуха (в м^3/с) рекомендуется определять по формуле

$$L'_{\text{ук}} = \frac{S_{max} G_{\text{м}}}{\tau (s - s_{\text{в}})}. \tag{38}$$

Как видим, автор считает необходимым при расчете количества воздуха учитывать динамику выделения вредных веществ в процессе сварки, введя в формулу (38) время τ.

4. МЕСТНЫЕ ОТСОСЫ ДЛЯ СВАРОЧНЫХ ПОЛУАВТОМАТОВ И АВТОМАТОВ

В последние годы успешно решаются вопросы местной вытяжной вентиляции при автоматической и полуавтоматической сварке. Основной предпосылкой является то, что местный отсос может быть расположен на некотором строго фиксированном расстоянии от точки сварки.

Ниже приводятся решения и конструкции местных отсосов для некоторых видов автоматической сварки, находящих наибольшее применение в промышленности в нашей стране и за рубежом.

Сварка в среде защитных газов. При сварке в среде защитных газов (углекислоте, аргоне и др.) местные отсосы должны быть компактными, обеспечивать достаточный обзор зоны сварки и эффективно удалять вредные вещества, не нарушая газовую защиту сварочных швов. Поэтому рекомендуется, чтобы скорости движения воздуха в зоне сварки не превышали 0,5—0,6 м/с при сварке в среде углекислого газа и 0,25—0,3 м/с при сварке в аргоне.

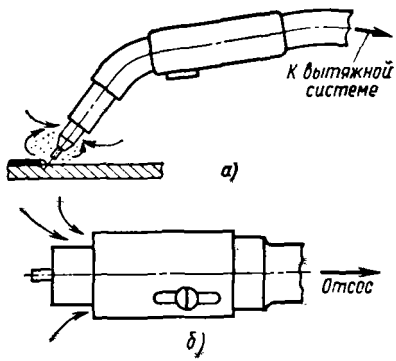


Рис. 29. Местные отсосы для сварочных полуавтоматов:
а — отсос фирмы Bernard; *б* — отсос фирмы ESAB с регулируемым насадком

Наиболее простой конструкцией местного отсоса является цилиндрический всасывающий патрубок, расположенный коаксиально вокруг сварочной головки. Однако следует отметить, что при близком расположении всасывающего патрубка от среза сопла, подающего защитный газ и сварочную проволоку, наблюдается существенное перетекание защитного газа в местный отсос, и тем самым ухудшается качество газовой защиты шва. Поэтому в держателе фирмы Bernard (США) для сварки порошковой проволокой патрубок местного отсоса несколько удален от сварочной головки (рис. 29, *а*). В конструкции сварочной головки шведской фирмы ESAB местный отсос выполнен регулируемым и может перемещаться вдоль оси сварочной головки, фиксируясь в требуемом положении специальным винтом (рис. 29, *б*).

Одна из подобных конструкций местных отсосов разработана и успешно испытана при сварке сталей в CO_2 и аргоне на Ленинградском судостроительном заводе им А. А. Жданова [29]. Местный отсос выполнен с коаксиальной щелью, охватывающей сварочное сопло. Срез отсоса отодвинут от среза сопла примерно на 5—7 мм. При сварке током силой 100—220 А местный отсос обеспечивал эффективное улавливание вредных веществ, расход воздуха составлял 48 м³/ч. Удаление загрязненного воздуха осуществлялось пылесосом «Вихрь». По данным Г. А. Федоренко [29], нарушения газовой защиты швов не наблюдалось, качество сварки хорошее.

Фирмой Hobart Brothers (США) серийно выпускается держатель полуавтомата, оборудованный встроенным отсосом со сплошной кольцевой щелью, расположенной на небольшом расстоянии от сопла. Сопло горелки при сварке необходимо держать почти вертикально, что ухудшает условия наблюдения за процессом сварки. Нам неоднократно приходилось видеть в лаборатории, что при сварке наклонным электродом эффективность такого кольцевого отсоса значительно ухудшалась или требовалось существенно увеличить расход воздуха, чтобы добиться эффективного улавливания вредных выделений. Местные отсосы со щелью постоянной ширины можно рекомендовать для сварочных автоматов, производящих сварку вертикальным электродом или при небольшом наклоне электрода (до 10—15°).

Наибольшая производительность труда достигается при сварке наклонным электродом, расположенным под углом 70—80° к горизонту. Поэтому разработано несколько специальных конструкций

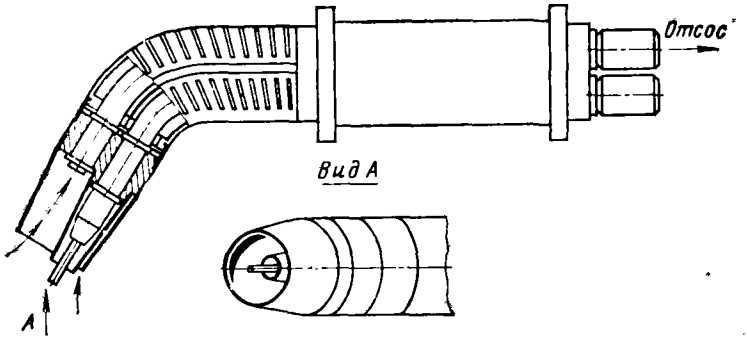


Рис. 30. Горелка со встроенным отсосом конструкции Е. М. Тупчия

отсосов для указанных условий. Силами предприятий и научно-исследовательских организаций изготовлены и испытаны только небольшие партии опытных горелок со встроенными местными отсосами. Наиболее эффективные из них описаны ниже.

На Николаевском судостроительном заводе им. 61 коммунара и Киевском заводе «Стройдормаш» применялись сварочные горелки с отсосами, разработанные в СКБ под руководством инж. Е. М. Тупчия (Киевский институт гигиены труда и профзаболеваний).

Особенностью конструкции данной горелки (рис. 30) является то, что местный отсос представляет собой конический, суживающийся книзу насадок, несколько сплющенный с боков. Сварочное сопло размещено внутри насадка, выступая в нижней части всасывающего отверстия наружу. Как видно из рис. 30, всасывающая щель приближена к зоне сварки, но площадь всасывающей щели на разных участках существенно различна. Основное количество загрязненного воздуха удаляется над сварочной дугой, т. е. в месте наиболее интенсивного образования вредных веществ. Трубка, по которой уда-

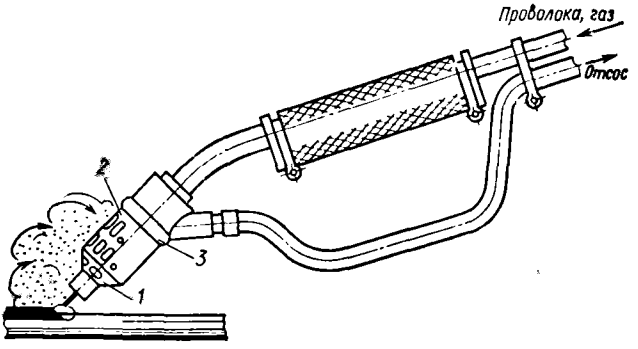


Рис. 31. Местный отсос для полуавтоматов А-537 и А-547

ляется загрязненный воздух, проложена выше, чем канал для подачи сварочной проволоки и защитного газа. По данным авторов, при сварке токами силой до 300 А расход удаляемого воздуха должен составлять примерно 25—35 м³/ч. Недостатком горелки является невозможность регулирования ее работы.

В 1974 г. ВИСП (г. Киев) совместно с КТИППом была разработана конструкция местного отсоса, который легко может быть установлен на широко используемых в промышленности сварочных полуавтоматах А-537 и А-547*. Местный отсос представляет собой перфори-

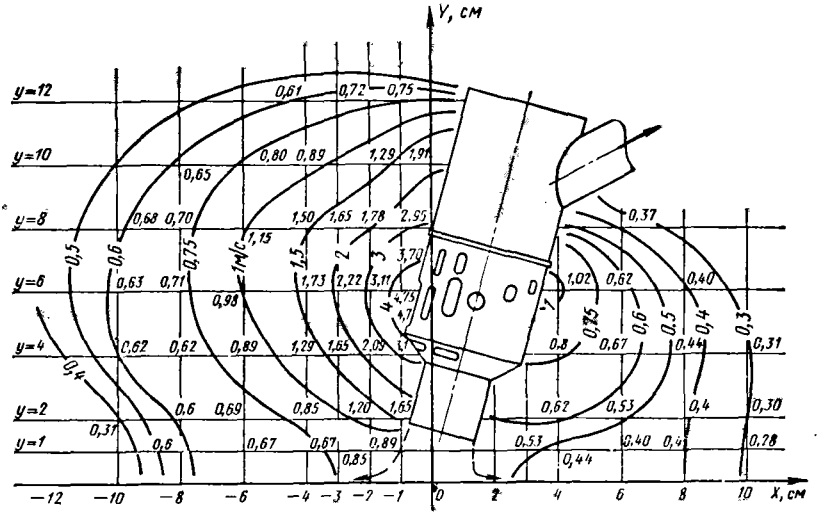


Рис. 32. Спектр всасывания отсоса при расходе воздуха 80 м³/ч

рованный насадок, состоящий из цилиндрической и конической частей (рис. 31). На конической части отсоса *1* сверху имеется три щелевидных отверстия, удаляющих часть вредных веществ из зоны сварки с максимальными концентрациями. Наиболее интенсивный отсос, удаляющий оставшиеся вредные вещества производится через отверстия в цилиндрической части насадка *2*, размещенные в верхней части и с боков на периметре, соответствующем дуге примерно 270°. Такая конструкция местного отсоса была выбрана для того, чтобы обеспечить эффективное улавливание вредных веществ на пути их подъема вверх. Местный отсос надевается сверху на сварочное сопло с возможностью перемещения его вверх и вниз вдоль оси горелки; благодаря цанговому соединению *3* сопло может вращаться вокруг оси горелки, обеспечивая требуемую регулировку интенсивности всасывания. Масса местного отсоса 70—80 г, выполнен он из листовой латуни, наружная его поверхность хромирована, что препятствует налипанию брызг металла.

* Работа выполнялась под руководством канд. техн. наук П. С. Матвеенко.

На испытаниях в ВИСПе при сварке током силой до 450 А расход воздуха для эффективного улавливания вредных веществ составлял около 80 м³/ч. Удаление загрязненного воздуха осуществлялось вакуум-насосом РМК-2. Сопротивление отсоса составляло 8500 Па, коэффициент местного сопротивления 1,37. Отсос загрязненного воздуха осуществлялся резиновым шлангом ⊘ 19 мм, сопротивление шланга 6300 Па на 1 м длины. Спектр всасывания для данного местного отсоса приведен на рис. 32. Экспериментальный график зависимости эффективного расхода воздуха от силы сварочного тока приведен на рис. 33.

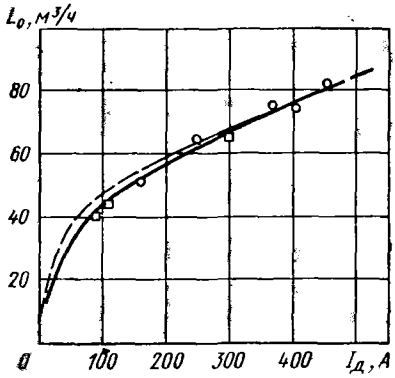


Рис. 33. График зависимости эффективного расхода воздуха от силы сварочного тока для местного отсоса конструкции ВИСП — КТИПП

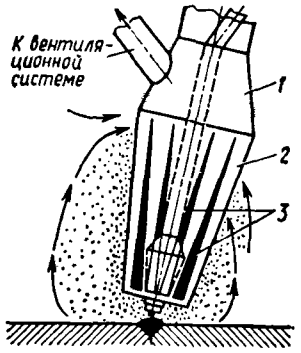


Рис. 34. Конструкция малогабаритного отсоса с клиновидными щелями конструкции НИИСТ

Опыты показывают, что основные гидравлические потери происходят в местном отсосе и на участке шланга малого диаметра длиной 1,2—1,5 м, присоединяемого непосредственно к рукоятке горелки. Минимальный диаметр всасывающего шланга 18—20 мм. Указанный размер шланга следует принимать, чтобы не создавать большую нагрузку на руку сварщика. Целесообразно устанавливать подающие механизмы полуавтоматов выше на специальной сварочной колонне [20], что значительно уменьшает массу держателя, передаваемую на руку рабочего и, следовательно, улучшает условия труда. Разработанная конструкция местного отсоса может успешно применяться также в различных сварочных автоматах для сварки током силой до 630 А.

Одна из конструкций местных отсосов, разработанных лабораторией охраны труда НИИСТ, показана на рис. 34. Отсос предназначен для сварочных полуавтоматов А-537 или А-765, а также сварочных автоматов, например, А-1411. Отсос состоит из корпуса *1* и воздухоприемной части *2*. Корпус крепится к сварочной горелке, в верхней части корпуса имеется штуцер для присоединения гибкого шланга от вытяжной вентиляционной системы. Воздухоприемная

часть отсоса представляет собой усеченный конус, на боковой поверхности которого выполнены клиновидные всасывающие щели *3*, служащие для удаления вредных веществ. Воздухоприемная часть монтируется соосно с горелкой и выполнена легкосъемной, что позволяет обеспечить необходимое обслуживание сварочной аппаратуры. Авторы отмечают, что благодаря развитой всасывающей поверхности отсоса скорости воздуха в зоне его действия убывают обратно пропорционально удалению от отсоса (а не квадрату расстояния,

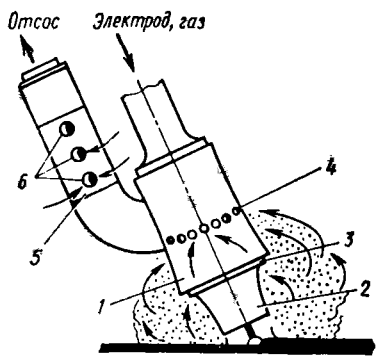


Рис. 35. Отсос для сварочных автоматов конструкции Airco Welding Products:

1 — корпус отсоса; *2* — сопло; *3* — кольцевая вытяжная щель; *4* — вытяжные отверстия; *5* — регулировочная манжета; *6* — отверстия для регулировки интенсивности отсоса

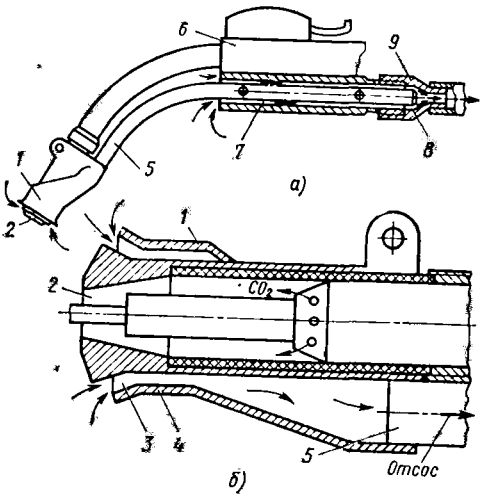


Рис. 36. Горелка со встроенным отсосом (США, патент № 3886344):

а — общий вид горелки; *б* — местный отсос; *1* — местный отсос; *2* — сварочное сопло; *3* — кольцевая всасывающая щель, *4* — развальцовка корпуса отсоса; *5* — вытяжной трубопровод; *6* — рукоятка горелки; *7* — отверстие в рукоятке; *8* — регулируемая щель; *9* — подвижная втулка

как для большинства остальных отсосов). Вследствие указанного предлагаемый отсос обладает хорошей эффективностью. При сварке током силой до 500 А необходимый расход воздуха равен 80 м³/ч, коэффициент местного отсоса 5, масса отсоса примерно 100 г. Для данной конструкции местного отсоса необходимая скорость воздуха (в м/с) может определяться по формуле, предложенной В. Р. Зайченко:

$$v_0 = v_c \frac{\pi}{2 \operatorname{arctg} \dfrac{F_{щ} \cos \delta}{l_{щ} D_c}} \sqrt{\frac{\rho_c}{\rho_\infty}}, \qquad (39)$$

где v_c, D_c и ρ_c — характеристики разгонного участка сварочного факела: соответственно средняя по сечению скорость, диаметр потока и плотность воздуха; $F_{щ}$ и $l_{щ}$ — суммарная площадь и длина

всасывающих щелей отсоса; δ — угол наклона оси щели относительно вертикали, град.

Чрезвычайно большое значение имеет возможность регулирования количества удаляемого воздуха в зависимости от конкретных условий сварки. В качестве примеров ниже приведены некоторые рациональные конструкции местных отсосов. На рис. 35 схематически показана сварочная горелка с местным отсосом фирмы Aircо Welding Products (США) [21]. В нижней части корпуса отсоса *1* имеется узкая кольцевая щель *3*, образованная развальцованной частью отсоса и сварочным соплом *2*. Через щель *3* вредные вещества удаляются с площади свариваемых деталей, прилегающей к зоне сварки. В средней части местного отсоса расположен ряд мелких отверстий *4*, служащих дополнительным отсосом для улавливания газов и пыли, поднявшихся вверх над зоной сварки. Местный отсос обеспечивает хорошую эффективность при сварке деталей из листового металла в нижнем положении. В отдельных случаях, например при сварке V- или T-образных соединений, когда требуется дополнительная регулировка количества отсасываемого из разных зон воздуха, поворотом манжеты *5* на всасывающем патрубке открываются или закрываются отверстия *6*. Подсос воздуха через указанные отверстия и обеспечивает требуемую интенсивность удаления вредных веществ.

По опытным данным [21], при полуавтоматической сварке для эффективной работы данной конструкции местного отсоса требуется удалять 54—68 м³/ч воздуха. Отсос может быть также рекомендован для сварочных автоматов при сварке в среде защитных газов.

Конструкция сварочной горелки по патенту США № 3886344 приведена на рис. 36 [47]. Местный отсос *1* (~~рис. 36, а~~) размещен достаточно близко от сварочного сопла *2*. Однако кольцевая всасывающая щель *3* образована развальцованной нижней частью корпуса отсоса *4* и конусной поверхностью сопла (~~рис. 36, б~~). За счет этого всасывание загрязненного воздуха происходит не снизу, а сбоку, вокруг зоны сварки. Трубка *5* от местного отсоса имеет диаметр 12 мм и введена внутрь трубчатого канала, расположенного в рукоятке *6*. Авторы указывают, что большую роль в эффективном удалении выделяющихся при сварке вредных веществ играет отсос через отверстие *7*, расположенное в рукоятке держателя. Здесь подсасывается примерно 75% всего удаляемого воздуха. Тем самым почти полностью улавливаются вредные вещества, ушедшие из зоны сварки, и обеспечивается охлаждение воздухом рукоятки. Расход воздуха составляет около 100 м³/ч. Регулирование работы отсоса производится изменением ширины зазора *8* путем перемещения по резьбе втулки *9*. Местный отсос данной конструкции улавливает до 95% выделяющихся вредных веществ.

Отдельно следует рассматривать конструкцию местного отсоса к держателю полуавтомата, предназначенного для сварки швов на вертикальных поверхностях. Особенностью указанной операции является сварка шва снизу вверх. При этом вдоль сварочного шва

вверх поднимается загрязненный нагретый поток воздуха, налипающий на вертикальную плоскость изделия. Авторы проводили исследования работы местных отсосов в указанных условиях; было установлено, что улавливание вредных веществ возможно только при создании зоны интенсивного отсоса непосредственно над сварочным соплом. В опытных горелках над соплом устанавливался вытяжной патрубок ⌀10 мм, обеспечивающий отсос загрязненного воздуха.

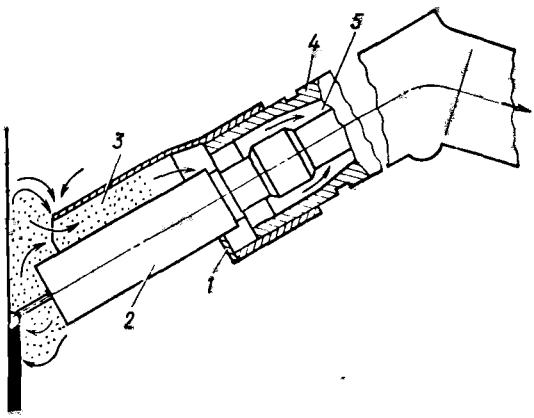


Рис. 37. Горелка для сварки швов на вертикальных поверхностях, оборудованная встроенным отсосом:

1 — сопло горелки; *2* — местный отсос; *3* — щелевой всасывающий канал; *4* — корпус; *5* — сборный вытяжной канал

Примерно по такому же принципу сконструирована специальная горелка, приведенная на рис. 37*. Система отсоса встроена в конструкцию горелки. Местный отсос *1* представляет собой цилиндрический патрубок с фигурным вырезом, который расположен над соплом *2*. Благодаря резьбовому соединению отсос устанавливается в корпусе горелки *4* с возможностью перемещения в осевом направлении для регулировки. Вредные вещества отсасываются через щелевой канал *3* и движутся по каналу *5*, расположенному внутри рукоятки горелки. К рукоятке присоединяется эластичный шланг-кабель ⌀25—32 мм, по которому загрязненный воздух отсасывается в вытяжную систему. Технические данные авторы в литературе не приводили. В настоящее время готовятся к выпуску опытные партии таких горелок, которые найдут применение в судостроении и других отраслях промышленности.

Непосредственно к местным отсосам для удаления вредных веществ могут присоединяться пылесосные шланги ⌀ 25 и 30 мм длиной до 1,5—2 м, изготовляемые заводом «Каучук». Могут использоваться также эластичные пластмассовые шланги ∅ 16—20 мм, изготовляемые научно-производственным объединением «Пластик» (г. Москва). Перспективная конструкция облегченного шланга-кабеля с внутренней токоведущей оплеткой разработана Одесским СКБ Министерства морского флота.

* Горелка разработана под руководством Е. Г. Киперника (г. Одесса).

После шлангов малого диаметра целесообразно устанавливать облегченные резинотканевые рукава ⌀ 38 и 50 мм, которые выпускаются участками длиной до 4 м. График для определения сопротивления шлангов приведен в приложении 6.

В качестве побудителей в вытяжных системах рекомендуется применять водокольцевые вакуум-насосы (ВВН). При создаваемом разрежении 25 КПа производительность вакуум-насоса ВВН-12 составляет 500 м³/ч, ВВН-25—1100 м³/ч, ВВН-50—2200 м³/ч. Допускается параллельная работа одинаковых побудителей на одну всасывающую сеть. Характеристика вакуум-насоса ВВН-12 приведена в приложении 7.

В вытяжных системах могут быть использованы также многоступенчатые центробежные машины завода «Узбекхиммаш» ТВ-50-1,6 производительностью 3000 м³/ч, ТВ-80-1,6—5000 м³/ч и ТВ-175-1,6—10 000 м³/ч; создаваемое этими машинами разрежение 30 КПа. Недостатком машин ТВ является высокий уровень шума, поэтому рекомендуется их устанавливать в отдельном звукоизолированном помещении.

В индивидуальных вытяжных установках при небольшой длине шлангов в качестве побудителей могут применяться многоступенчатые центробежные вентиляторы высокого давления, создающие разрежение не менее 15 КПа [5].

Качество перечисленных выше шлангов и побудителей не всегда соответствует предъявляемым к ним требованиям, что в значительной степени задерживает внедрение высоковакуумных систем. Поэтому работы в данном направлении следует продолжать и в будущем.

Применение малогабаритных местных отсосов при полуавтоматической и автоматической сварке значительно улучшает условия труда сварщиков. Особенно это важно при полуавтоматической сварке в среде защитных газов, а также при всех видах сварки в закрытых и полузакрытых объемах. В качестве примера приведем результаты санитарно-гигиенических исследований при сварке деталей из малоуглеродистых сталей в среде CO_2 при силе тока до 400 А. При неработавшем местном отсосе концентрации сварочного аэрозоля под щитком сварщика составляли 19—26,4 мг/м³, окиси углерода — 28—33 мг/м³. После включения местного отсоса конструкции ВИСП — КТИПП концентрации сварочного аэрозоля не превышали допустимых — 4 мг/м³ и только на отдельных режимах, когда наблюдалось сильное разбрызгивание капель металла из сварочной ванны, концентрации повышались до 4,7—6,2 мг/м³. Концентрации CO были значительно ниже предельно допустимых. Таким образом, применение местного отсоса дало большой гигиенический эффект.

Сварка под слоем флюса. Отсос вредных веществ рекомендуется осуществлять в зоне 0,2—0,3 м за дугой. Для того чтобы отсос не захватывал флюс, его устанавливают на высоте 40—50 мм от поверхности свариваемой детали. Сбор оставшегося флюса осуществляется

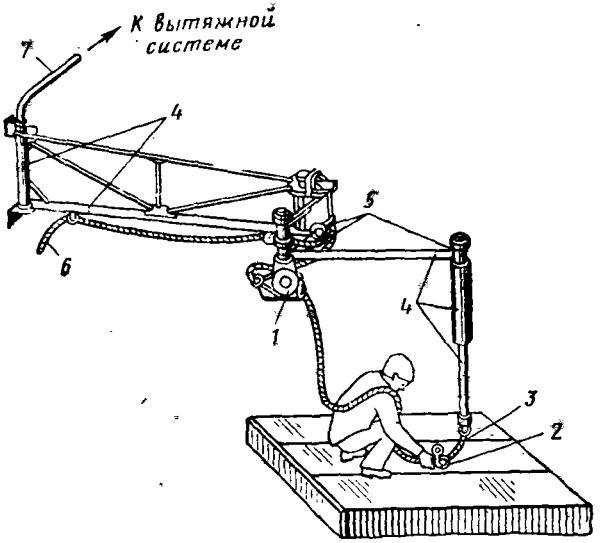


Рис. 38. Вытяжная установка к шланговому полуавтомату ПШ-5-у для сварки под флюсом:

1 — подающий механизм; *2* — патрубок отсоса; *3* — гибкий шланг; *4* — металлические воздуховоды; *5* — шарнирные соединения; *6* — электрокабель; *7* — патрубок для присоединения к вытяжной системе

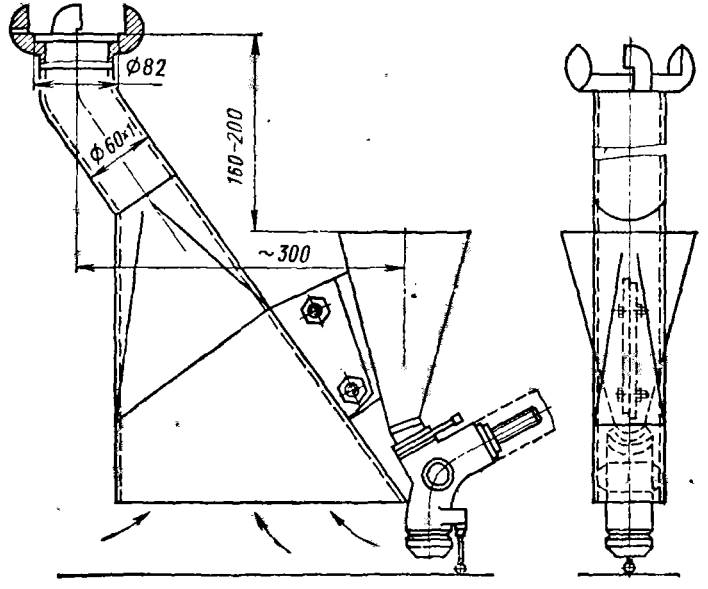


Рис. 39. Местный отсос к полуавтомату ПШ-5-у

специальными устройствами, входящими в конструкцию сварочной аппаратуры и предусматривающими очистку воздуха перед выбросом в атмосферу. Конструкции местных отсосов к выпускаемому оборудованию приведены в альбоме типовых чертежей отсосов и укрытий института «Проектпромвентиляция», а также в специальной литературе [27, 47]. Наиболее часто применяются воронкообразные и щелевые отсосы, прикрепленные к сварочным головкам.

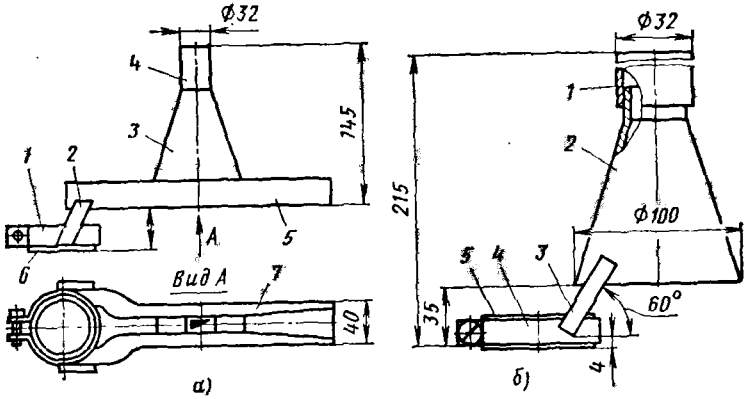


Рис. 40. Местный отсос для сварочного трактора АДС-100-2:

а — щелевой отсос; *1* — хомутик; *2* — планка; *3* — переход; *4* — патрубок; *5* — корпус отсоса; *6* — кольцо; *7* — дно приемника с фигурным вырезом; *б* — воронкообразный отсос; *1* — патрубок; *2* — воронка; *3* — планка; *4* — хомутик; *5* — кольцо

Местная вентиляция при сварке шланговым полуавтоматом ПШ-5-у, применяемым рядом заводов, показана на рис. 38, 39. Отсос щелевидной формы (см. рис. 38) крепится непосредственно к сварочной головке и перемещается сварщиком. Патрубок *2* отсоса присоединяется к гибким шлангам *3* и металлическим подвижным воздуховодам *4*, через которые загрязненный воздух уда яется в вытяжную систему. В зависимости от силы сварочного тока количество удаляемого воздуха принимают от 70 до 140 м³/ч. Недостатком приведенной схемы является ее громоздкость и небольшой радиус действия.

Проще осуществляется отсос на сварочных автоматах. На рис. 40 показаны два типа местных отсосов для сварочных тракторов АДС-100-2. При одинаковом расходе воздуха (примерно 140 м³/ч) удлиненный щелевидный отсос более эффективен, однако он громоздок и широкого применения в практике не нашел.

Для определения расхода воздуха (в м³/ч), удаляемого местным отсосом при полуавтоматической сварке, ВЦНИИОТом предложена формула

$$L = K\sqrt[3]{I_д}, \qquad (40)$$

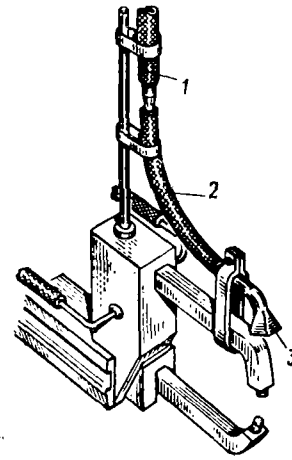


Рис. 41. Местный отсос от подвесной машины МТПП-150:
1 — резинотканевый шланг D_y = 50 мм; *2* — шланг D_y = = 32 мм; *3* — отсос сечением 30×30 мм

где K — опытный коэффициент, равный 12 для щелевидных отсосов и 16 для воронкообразных.

Местная] вентиляция при контактной сварке. На машинах для контактной и точечной сварки мощностью до 150 кВА следует обязательно устанавливать местные отсосы, а на машинах с непрерывным оплавлением мощностью 150—500 кВА — вытяжные шкафы-укрытия. Подвесные машины типов МТПП-75 и МТПП-150 оснащаются малогабаритными местными отсосами [5, 19], как показано на рис. 41.

Конструирование местных отсосов для различных свариваемых деталей и типов машин осуществляется из условий обеспечения эффективной вытяжки при сохранении удобства обслуживания. Например, при сварке арматуры и небольших деталей из пластин отсосос следует размещать у верхнего электрода (рис. 42). Расход воздуха составляет 120—200 м³/ч на каждый отсос. Удаление вредных веществ осуществляется общецеховой системой или индивидуальным вентилятором путем подключения местных отсосов эластичными шлангами или металлическими воздуховодами. Очистка воздуха перед выбросом в атмосферу не обязательна. При контактной сварке больших деталей из листового проката лучше применять двойной отсос (одновременно сверху и снизу листов). Удаление вредных веществ от многоточечных машин также следует производить от каждой пары электродов. Например, местный отсос для машины МТМС-10 × 35 может быть выполнен в виде гребенки с вертикальными воздуховодами, проходящими между электродами. Можно местный отсос разместить в стороне от электродов и от каждого вытяжного вертикального воздуховода подвести к зоне сварки горизонтальные всасывающие патрубки [27]. Расход воздуха составляет 380—400 м³/ч или примерно 80 м³/ч на пару электродов.

Для Братского завода отопительного оборудования Министерва промышленности стройматериалов, выпускающего стальные штампованные радиаторы, НИИСТом предложена схема вытяжной вентиляции при контактной сварке, изображенная на рис. 43. На машине МТП установлено два отсоса, у верхнего и нижнего электродов. Местный отсос у верхнего электрода (рис. 43, *б*) представляет собой конусный перфорированный или конусно-щелевой насадок. Расход воздуха для него равен 50 м³/ч. Нижний отсос (рис. 43, *в*) выполнен коробчатого сечения с кольцевой всасывающей щелью, обеспечивающей удаление загрязненного воздуха в зоне вокруг электрода непосредственно из-под свариваемого листового металла.

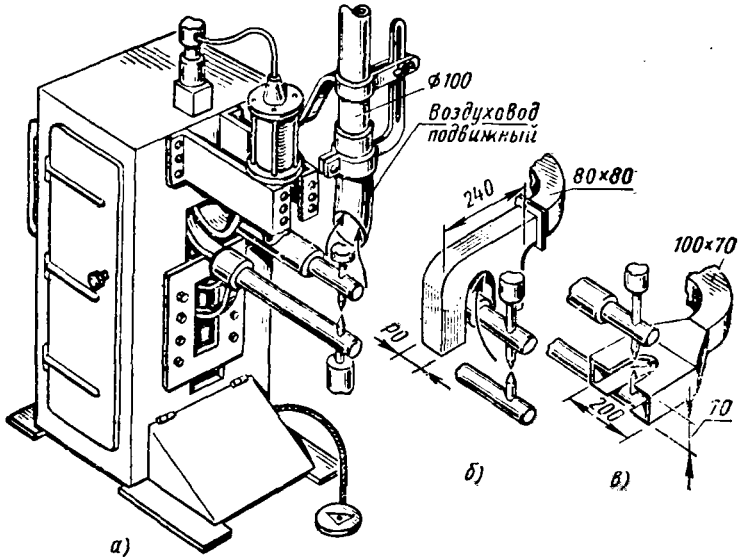


Рис. 42. Варианты установки местных отсосов на машине для точечной сварки МТП-75:

а — общий вид машины с отсосом — цилиндрическим патрубком; *б* — верхний отсос; *в* — нижний отсос

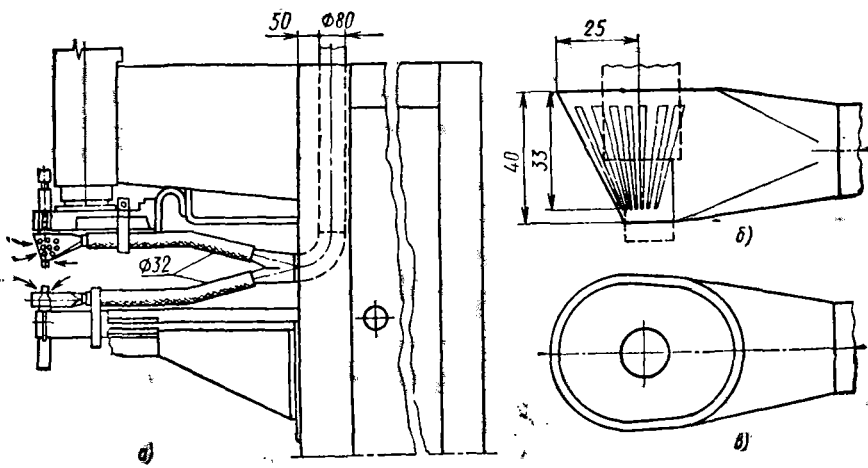


Рис. 43. Схема местной вентиляции машин для точечной сварки на Братском заводе отопительного оборудования:

а — общий вид машины; *б* — отсос конусно-щелевого типа для верхнего электрода; *в* — нижний отсос

Расход воздуха для нижнего отсоса рекомендуется принимать 20 м³/ч. Как видим, вследствие близкого расположения местных отсосов у электродов суммарное количество удаляемого воздуха невелико (70 м³/ч). Верхний и нижний отсосы присоединяются резинотканевыми шлангами диаметром 32 мм к коллектору цеховой вытяжной системы. Сопротивление отсосов и шлангов составляет примерно 500 Н/м² (50 кгс/м²).

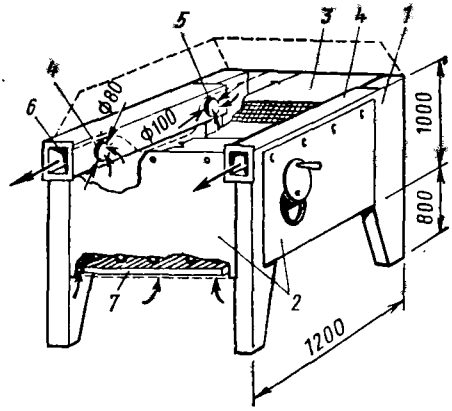


Рис. 44. Местный отсос машины для сварки электрозаклепками

Вентиляция машин большой мощности для стыковой сварки, многоточечных машин для сварки электрозаклепками и др., как правило, осуществляется при помощи укрытий, присоединяемых к вытяжным вентиляционным системам или вентиляторам низкого давления.

Конструкция укрытия разработанной ВИСПом машины 105А для сварки крышек электрозаклепками показана на рис. 44. Машина предназначена для работы на линии сварки и имеет 48 сварочных головок для сварки электрозаклепками в среде углекислоты при силе сварочного тока 550—600 А. Укрытие, обеспечивающее улавливание вредных веществ, образуется креплением на каркасе *1* съемных щитков *2*, в верхней части машины размещена фигурная крышка *3* из листовой резины, препятствующая распространению сварочного факела вверх. Удаление загрязненного воздуха осуществляется двумя горизонтальными воздуховодами *4* с отверстиями *5*, причем воздуховоды являются одновременно деталями каркаса машины. Фактически укрытие ограничено и снизу, так как свариваемая деталь *7* устанавливается в нижней части машины так, что между краями детали и боковыми щитками *2* остаются щелевые зазоры шириной 20 мм для подсоса воздуха.

Эффективный расход воздуха для данного укрытия равен 1100 м³/ч. Укрытие при помощи патрубков *6* присоединяется к общецеховой вытяжной вентиляционной системе. Коэффициент местного сопротивления укрытия, отнесенный к скорости воздуха в патрубке *6*, составляет 2,8.

В последние годы широкое применение в промышленности находит контактно-стыковая сварка. Вследствие ведения сварочного процесса сварочными токами значительной силы и при значительных пыле- и газовыделениях машины стыковой сварки должны обязательно иметь местные отсосы. Наилучшим решением для стационарных машин является применение укрытий. Кабина укрытия должна иметь такие размеры, чтобы обеспечивалась возможность обслуживания сварочной машины. Обычно укрытие выполняется

в виде каркаса из уголка, обшитого листовой сталью толщиной 1,2—1,4 мм. Крыша укрытия выполняется в виде зонта с патрубком для присоединения к вытяжной системе. Сварщик находится за пределами укрытия и наблюдает за процессом автоматической сварки через окна.

Кроме укрытия, машина стыковой сварки может оборудоваться также встроенным отсосом. Основой отсоса являются стойки гидропривода и зажатия свариваемых деталей, к которым крепятся боковые стенки отсоса, сверху монтируется диффузор. На передней стенке отсоса устраивается дверца — экран для наблюдения за процессом сварки. Местный отсос должен быть электроизолирован от стоек, находящихся под напряжением.

Расход воздуха подсчитывается по формуле (37), приведенной в п. 3 гл. IV. После определения расхода рекомендуется проверить, чтобы скорости воздуха в неплотностях укрытия (или отсоса) были не менее 1,5 м/с.

5. СТОЛЫ ДЛЯ СВАРКИ СО ВСТРОЕННЫМИ МЕСТНЫМИ ОТСОСАМИ

В отечественной и зарубежной практике успешно применяют различные конструкции столов для сварщиков. Столы для сварщиков выпускают *поворотные*, то есть у которых перемещается рабочая часть или вращается свариваемая деталь, и *неповоротные*.

На рис. 45 показан стол для сварщика с местным отсосом, разработанный московским институтом «Проектпромвентиляция» [16]. Стол имеет рабочую решетку размером 1000 × 650 мм, выполненную из полос швеллера, расположенных с шагом 15 мм. Живое сечение щелей — 30% габаритной поверхности стола. Нижняя часть стола выполнена в виде камеры, из которой загрязненный воздух удаляется вытяжной системой. Стол оборудован также надвижным укрытием типа «маркизы», состоящим из отдельных секций. При сварке мелких деталей укрытие поднимают. Рекомендуемый расход воздуха в этом случае составляет 1200

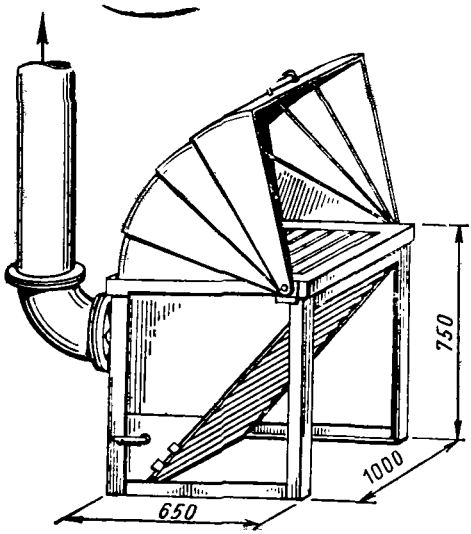


Рис. 45. Стол для сварщика с нижним отсосом и надвижным укрытием конструкции института «Проектпромвентиляция» (г. Москва)

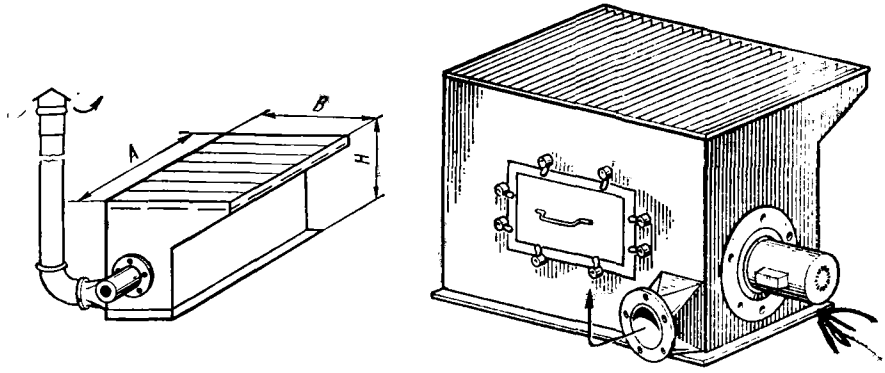


Рис. 46. Стол для сварки фирмы Oelde (ФРГ):
а — подключение стола к воздуховодам; *б* — вид стола с тыльной стороны

м³/ч. При работе местного отсоса без надвижного укрытия для определения эффективного расхода воздуха (в м³/ч) может использоваться формула, полученная экспериментально [11]:

$$L_0^{\text{н}} = 480 + 4\ y, \qquad (41)$$

где y — высота свариваемых деталей, мм.

Согласно приведенной формуле (41), расход воздуха для улавливания сварочного факела при сварке деталей высотой 400 мм равняется 2080 м³/ч. Сваривать на столе детали более 450 мм не рекомендуется, так как всасывающий факел на этой высоте становится неустойчивым [11].

Ряд оригинальных конструкций столов для сварщиков со встроенными вентиляционными агрегатами создан в ФРГ и ГДР.

Согласно проспекту, фирма Oelde выпускает столы для сварщиков трех типоразмеров: 700 × 700, 800 × 800 и 1200 × 800 мм.

Местный отсос стола (рис. 46) представляет собой горизонтальную решетку из прутьев, которая также служит и рабочей решеткой для установки свариваемых деталей. Отсос загрязненного воздуха производится внутрь стола центробежным вентилятором, смонти-

Таблица 7

Тип	Размеры, мм (рис. 46)			Характеристика вентиляционного агрегата			$F_{\text{реш}}$, м²	$L_{\text{уд}}$, м³/ч на 1 м²	Масса, кг
	A	B	H	L, м³/ч	N, кВт	n, об/мин			
I	700	700	800	900	0,37	1400	0,49	1840	110
II	1000	800	800	1500	0.75	1400	0,80	1880	148
III	1200	800	800	2100	1,10	1400	0,95	2190	186

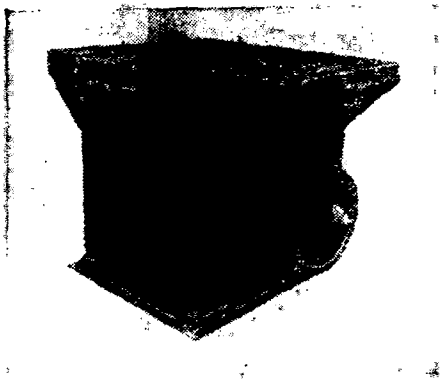


Рис. 47. Стол для сварки, выпускаемый ПНР

рованным на одной оси с электродвигателем и установленным в корпусе стола. Выброс загрязненного воздуха производится через воздуховод, подключаемый к выхлопному патрубку вентилятора с тыльной стороны. Некоторые характеристики столов фирмы Oelde приведены в табл. 7.

Столы могут быть использованы при газо- и электросварке. В проспекте не сообщается максимальная высота свариваемых деталей и сила сварочного тока. Использование нижнего отсоса позволяет предполагать, что эффективный отсос пыли и газов возможен при сварке невысоких деталей. Положительным качеством описанных конструкций является использование малошумных вентиляторов с $n = 1400$ об/мин.

Столы для сварки с нижними отсосами выпускаются в ГДР и ПНР. Особенностью стола, выпускаемого в Польше, является применение для удаления загрязненного воздуха осевого вентилятора, установленного сбоку в нижней части корпуса стола (рис. 47). Рабочая поверхность столов выполняется из отдельных плиток с отверстиями для отсоса загрязненного воздуха.

На рис. 48 показан стол, выпускаемый западногерманской фирмой Winterfeld. Стол оборудован комбинированным местным отсосом и центробежным вентилятором. Здесь в качестве основного отсоса также используется нижний решетчатый отсос, имеются дополнительные верхние отсосы в виде воронок или небольших вытяжных панелей. Верхние отсосы перемещаются в нужную точку благодаря использованию воздуховодов с телескопическими соединениями. Однако работа с верхним отсосом затруднительна для сварщика, так как при перемещении точки сварки необходимо все время перемещать и воздухоприемник.

Отличительной особенностью указанного стола является применение в конструкции нижнего отсоса решетки из трубчатых вкладышей *2*. Загрязненный воздух вместе с уловленными вредными веществами проходит через щели в решетке, затем через окна попадает в каналы *3* трубчатых вкладышей, и из них — в сборную камеру стола *1*, откуда поступает во всасывающий патрубок вентилятора. Конструкция решетки обеспечивает создание поля равномерных скоростей и исключает попадание крупных пылевых частиц и брызг металла в вытяжные каналы.

На рис. 49 изображен стол с местным отсосом витринного типа, предложенный институтом «Проектпромвентиляция» для сварки ме-

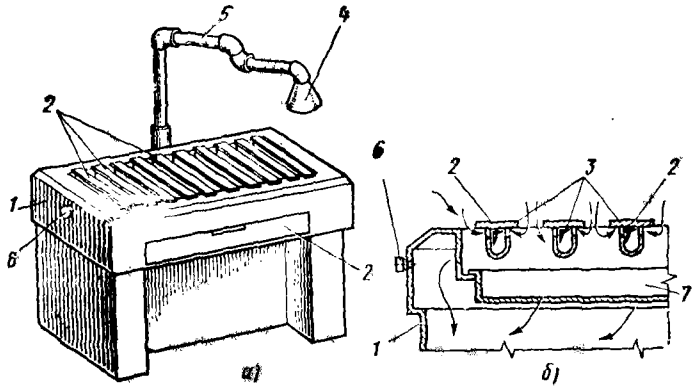


Рис. 48. Стол для сварки с комбинированным отсосом фирмы Winterfeld:

а — общий вид стола; *б* — корпус стола в разрезе; *1* — корпус стола; *2* — трубчатые вкладыши; *3* — каналы; *4* — верхний воронкообразный отсос; *5* — подвижные металлические воздуховоды, *6* — патрубок с заглушкой для подключения передвижного отсоса сбоку



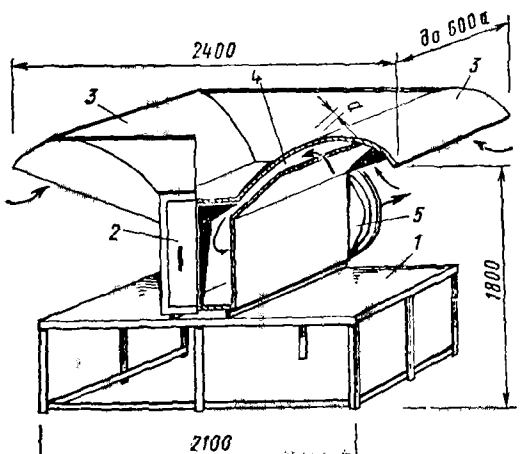


Рис. 49. Местный отсос для сварки изделий длиной до 6 м конструкции «Проектпромвентиляция»:

1 — стол; *2* — сборный вытяжной воздуховод; *3* — укрытие витринного типа; *4* — щелевой патрубок переменного сечения; *5* — патрубок для подключения к вытяжной системе

Рис. 50. Стол для сварщика модели ССН-3 со встроенным вентиляционным агрегатом

галлоконструкций длиной до 6 м [11]. Работа на столе производится одновременно с двух сторон. От вытяжного воздуховода *2* под укрытие *3* выведены щелевые всасывающие патрубки *4*. Для равномерности всасывания загрязненного воздуха по длине витринного отсоса щель выполнена переменной ширины. Загрязненный воздух удаляется вытяжной системой и выбрасывается наружу. Рекомендуемый расход воздуха 8500 м³/ч.

В Советском Союзе серийно выпускаются разработанные ВИСПом столы для сварщиков с нижним и боковым местными отсосами (рис. 50). Столы моделей ССН-1 и ССН-2 имеют рабочую решетку размером 800 × 800 мм, стол ССН-3—1200 × 800 мм. Столы ССН-1 и ССН-3 оборудованы встроенными центробежными вентиляторами типа Ц4-70 № $2^1/_2$, обеспечивающими расход воздуха 1500 м³/ч и полное давление 500 Па. На указанных столах может производиться сварка мелких и средних деталей высотой до 500 мм, массой до 60 кг токами силой до 500 А. Столы модели ССН-2 присоединяются к общецеховой вытяжной вентиляционной системе. Столы ССН-1 и ССН-3, *имеющие собственные вентиляционные агрегаты, размещаются* в цехах отдельно и присоединяются к воздуховодам для выброса загрязненного воздуха в атмосферу за пределы производственных помещений. Основной отсос осуществляется через боковую панель, отсос через решетку стола является вспомогательным.

В 1977 г. в соответствии с ГОСТ 20741—75 ВИСПом совместно с КИСИ разработаны новые типовые модели четырех столов сварщика, отличающиеся более совершенной конструкцией (рис. 51, 52). Принципиальное отличие новых столов от выпускавшихся ранее заключается в том, что боковые панели имеют регулируемый угол наклона. При вертикальном положении боковой панели можно установить деталь массой 60—100 кг на стол краном. Подвижный козырек боковой панели снабжен светильником, что улучшает условия работы сварщиков.

Размеры рабочей решетки столов С100.20 и С100.21 800 × × 800 мм. Стол С100.20 имеет встроенный вентилятор типа Ц14-46 № 2, обеспечивающий удаление воздуха в объеме 2200 м³/ч. Обеспечивается эффективное улавливание вредных веществ при ручной и полуавтоматической сварке деталей высотой до 500 мм токами силой 500 А.

Столы С100.40 и С100.41 имеют рабочую решетку размером 1250 × 800 мм. Стол С100.40 оборудован вентилятором Ц14-46 № 2 на одной оси с электродвигателем, обеспечивающим максимальный расход воздуха 2700 м³/ч и давление в нагнетательном патрубке 300 Па (30 кгс/м²). Вентиляционные агрегаты указанных столов обеспечивают эффективное удаление вредных веществ при сварке деталей высотой до 630 мм током силой до 630 А.

Все столы новой серии имеют регулировочные дроссель-клапаны, позволяющие при сварке мелких деталей высотой до 100 мм полностью отключить боковые панели и работать на нижних отсосах. В столах С100.40 и С100.41 боковые вытяжные панели состоят из

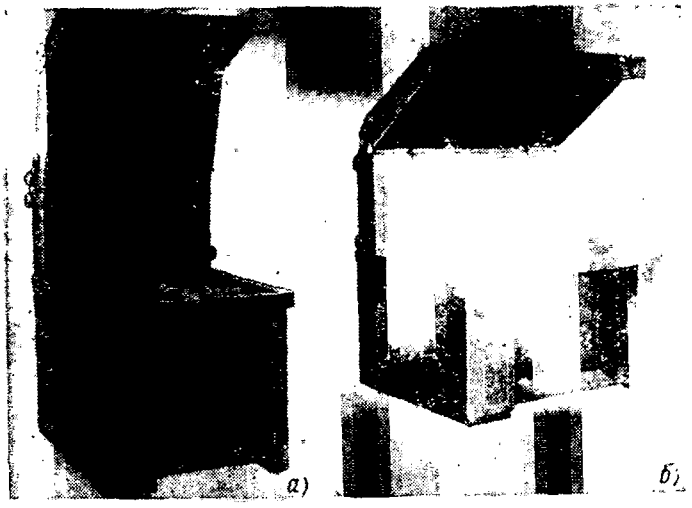


Рис. 51. Столы конструкции ВИСП — КИСИ:
а — стол для сварщика С100.20; *б* — стол модели С100.40

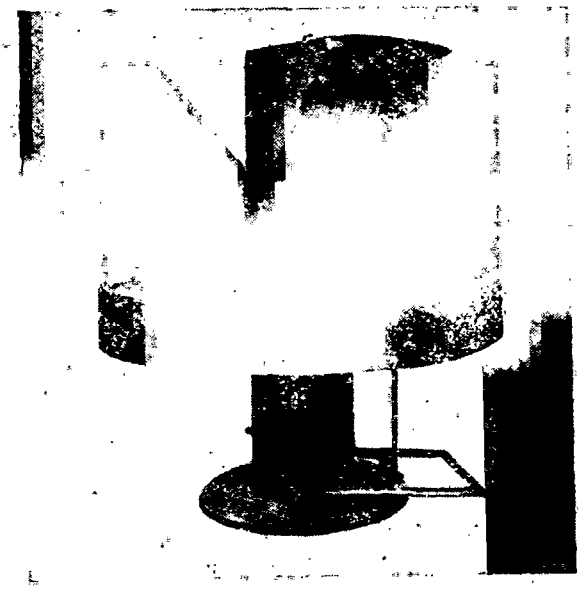


Рис. 52. Поворотный стол для сварки, разработанный ВИСПом для Киевскго мотоциклетного завода

двух отдельных секций с индивидуальными клапанами, что позволяет при необходимости отключить любую из секций и создать весьма интенсивный отсос на любой стороне стола, если это потребуется. Опытные образцы столов для сварщиков в течение двух лет успешно эксплуатируются на экспериментальном заводе ВИСП (г. Киев). Серийное производство столов начато Харьковским метизным заводом «Комсомолец» с 1980 г.

6. МЕСТНЫЕ ОТСОСЫ ПРИ СВАРКЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Осуществление местной вентиляции при сварке крупногабаритных изделий сопряжено с рядом трудностей, вызванных как сложностью технологических операций, так и большой протяженностью рабочей зоны. Для эффективной локализации вредных веществ рекомендуется применение местных отсосов, встроенных в МСО или сварочное оборудование и стенды, а также комбинированных систем отсосов со сдувом этих веществ приточными струями.

Одним из удачных примеров встроенной местной вентиляции при сварке плоских элементов ферм длиной до 2,5 м является кондуктор, предложенный М. З. Брауде [1], в котором всасывающие патрубки, установленные вблизи точек сварки, обеспечивают до-

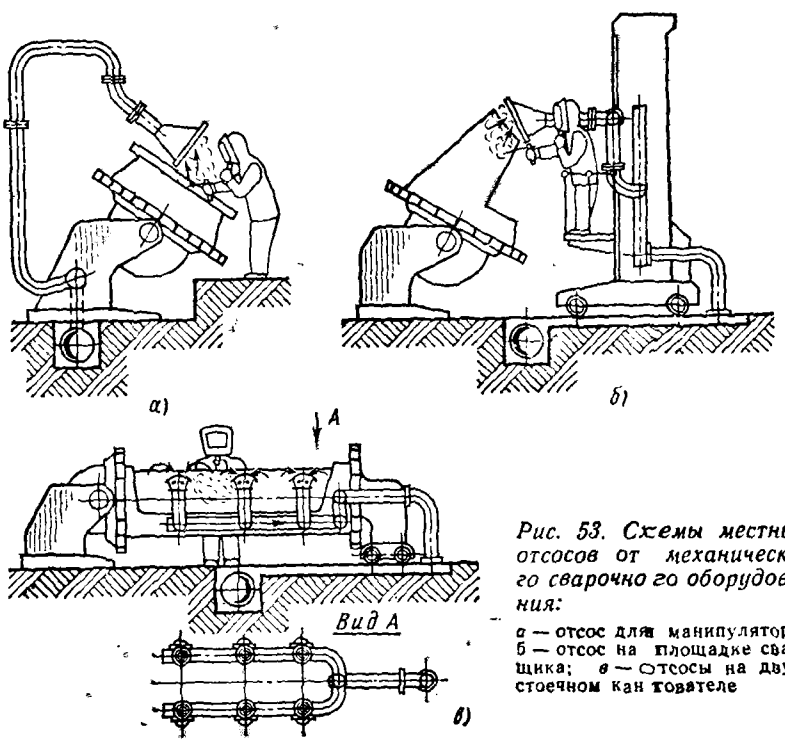


Рис. 53. Схемы местных отсосов от механического сварочного оборудования:

а — отсос для манипулятора; б — отсос на площадке сварщика; *в* — отсосы на двухстоечном кантователе

статочные скорости воздуха для улавливания вредных веществ (0,5—1,5 м/с). Общий объем удаляемого от кондуктора воздуха — до 2000 м³/ч.

Как указывалось выше, в СССР ведутся обширные работы по выпуску МСО с встроенными местными отсосами. Некоторые схемы их конструкций, разработанных в ВИСПе, приведены на рис. 53.

Местный отсос для манипуляторов и позиционеров (рис. 53, *а*) выполнен в виде подвижного пылегазоприемника, укрепленного на шарнирно соединенных воздуховодах. Отсос воздуха осуществляется подключением к цеховой вытяжной системе или индивидуальному вентилятору, устанавливаемому внутри станины. Когда большие изделия свариваются на позиционерах, не оборудованных местными отсосами, можно использовать передвижные площадки сварщика со встроенным отсосом (рис. 53, *б*). Местый отсос выполняется в форме передвижной воронки или небольшой панели. Вытяжные воздуховоды прокладываются внутри металлоконструкций площадки. Выброс вредных веществ производится в канал, расположенный между рельсами передвижения площадки сбоку от них.

При сварке изделий на двухстоечных кантователях внутри рамы или кондуктора, на котором закрепляется собранное изделие, размещаются вытяжные воздуховоды со всасывающими подвижными патрубками, которые можно приблизить при необходимости к местам сварки (рис. 53, *в*). Отсос вредных веществ осуществляется через полую центральную ось подвижной задней стойки кантователя в вытяжной канал цеховой вентиляционной системы. Вентилятор можно расположить внутри стойки кантователя.

Оригинальное решение местной вентиляции предложено ВИСПом и ВНИИОТ для глагольной тележки, несущей универсальную сварочную головку (рис. 54). Тележка предназначена для сварки пространственных продольных и поперечных швов под слоем флюса или в среде углекислого газа на цилиндрических емкостях, металлоконструкциях, полотнищах и т. п. Так как пульт управления вместе с оператором находится на площадке тележки в непосредственной близости от зоны сварки, запроектирована установка удлиненного или П-образного местного отсоса. Глагольная тележка выполняется в двух исполнениях, рассчитанных на удаление вредных веществ при помощи центробежного вентилятора или аспирационной системы с высоковакуумным побудителем. Особенностью работы глагольной тележки является перемещение сварочной головки вдоль траверсы вперед и назад примерно на 2 м, перемещение всей траверсы по колонне вверх или вниз, а также движение глагольной тележки по рельсовому пути в зоне до 6 м. Поэтому в траверсе, колонне и сборном вытяжном канале, проложенном между рельсами, устроена система открывающихся клапанов, а в металлоконструкциях тележки предусмотрены специальные полости — каналы для отсоса загрязненного воздуха. Вследствие подвижности всех узлов тележки трудно обеспечить герметичность вытяжной системы, поэтому непроизводительные подсосы воздуха достигают

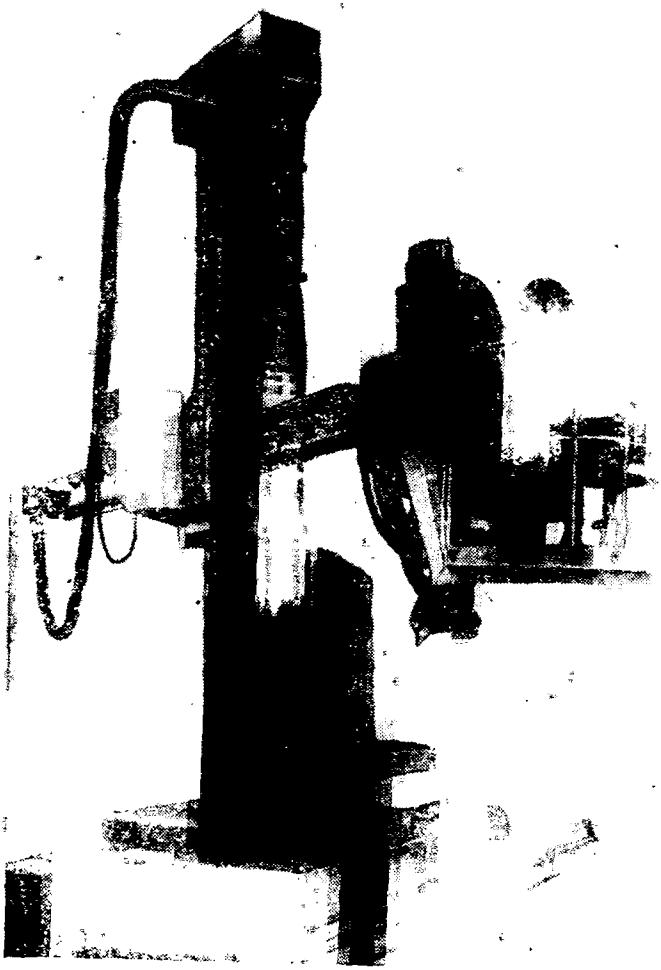


Рис. 54. Глагольная тележка конструкции ВИСП, оборудованная системой вытяжной вентиляции

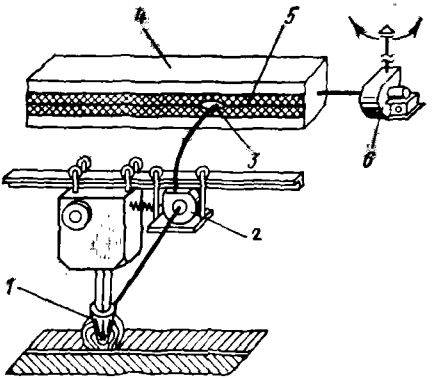


Рис. 55. Схема местной вентиляции сварочной машины А-1411, разработанная НИИСТ:
1 — местный отсос; *2* — вытяжной вентилятор № 1; *3* — подающий патрубок; *4* — вытяжной канал; *5* — эластичные полосы; *6* — вытяжной вентилятор № 2

150—200%. Удаление загрязненного воздуха осуществляется центробежным вентилятором среднего давления типа ЦС. Полезный расход воздуха при размещении местного отсоса на высоте 150 мм над поверхностью свариваемого изделия составляет 200 м³/ч для сварочных токов до 1000 А.

Значительно упрощается конструкция глагольной тележки при использовании для удаления вредных веществ аспирационной системы с высоковакуумным побудителем РМК-3. Вакуум-насос может обеспечить расход воздуха до 300 м³/ч при разрежении в сети до 30 кПа.

Для удаления загрязненного воздуха внутри траверсы тележки и снаружи по колонне проложены трубопроводы из стальных труб ⌀50 мм, соединенные друг с другом и с местным отсосом эластичными шлангами такого же сечения. Петли шлангов вписаны в конструкцию пучка электрокабелей. От подвижной платформы глагольной тележки вытяжной шланг проложен внутри цепи вместе с кабелями электропитания и управления. За пределами рельсового пути шланг подключен к стационарному вытяжному коллектору из стальных труб ⌀ 70 мм, проложенному в борозде ниже уровня пола цеха. Загрязненный воздух проходит через циклон, где отделяются крупные пылевые частицы, после очистки засасывается вакуум-насосом и выбрасывается в атмосферу. Вторая схема, упрощая конструкцию глагольной тележки, позволяет примерно на 5% уменьшить трудоемкость ее изготовления. Технико-экономический расчет показывает, что для вновь проектируемых предприятий предлагаемое решение по капитальным затратам и эксплуатационным расходам является целесообразным. Приведенная схема использована также при разработке местной вентиляции для колонны Т11050Б.

Предложенная НИИСТ (г. Киев) система местной вентиляции машины с автоматической сварочной головкой А-1411 показана на рис. 55 [35]. Машина предназначена для сварки протяженных швов токами большой силы. Загрязненный воздух улавливается конусно-щелевым пылегазоприемником *1* и отсасывается одним вентилятором *2*, который перемещается вместе с головкой по направляющим рельсам. Этот вентилятор подает воздух через патрубок *3* в вытяжной

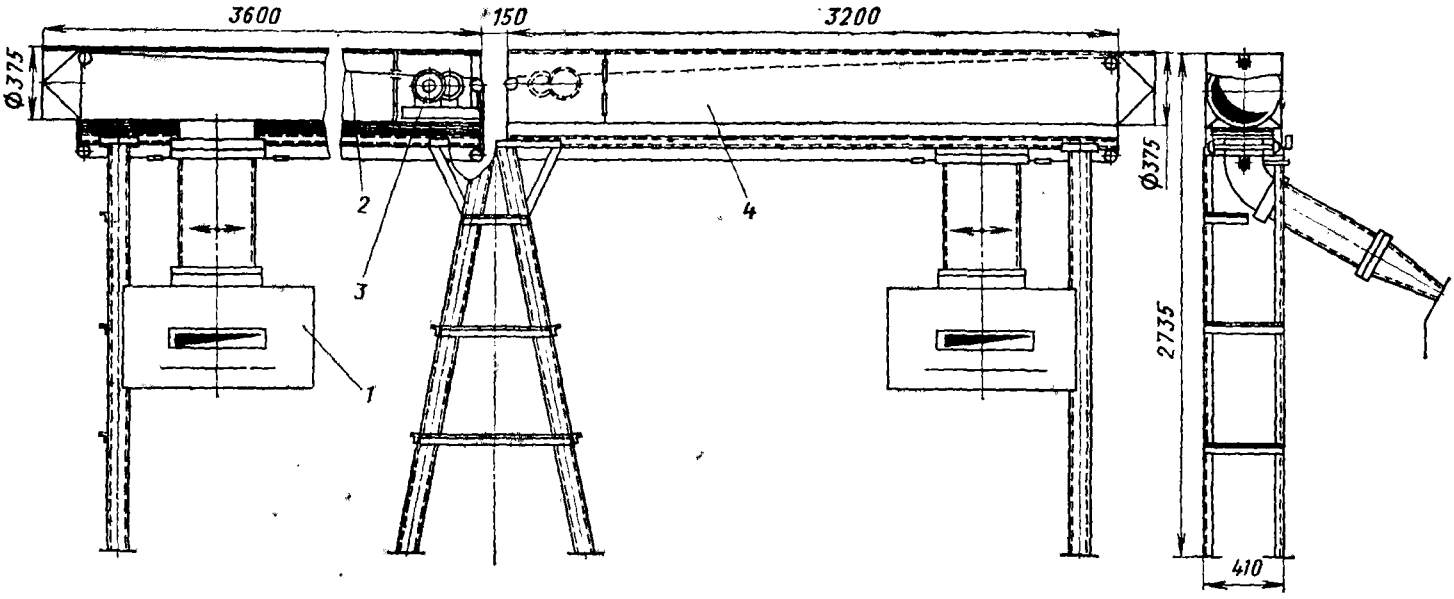


Рис. 56. Схема местного отсоса с автоматическим перемещением конструкции СПКИ (г. Одесса):
1 — всасывающая щель; *2* — трос; *3* — привод; *4* — короб-коллектор; *5* — каретка

канал *4*, проложенный вдоль направляющих рельсов. Канал выполнен с продольной щелью, уплотненной двумя эластичными полосами *5*. Второй вентилятор *6* отсасывает загрязненный воздух из канала *4* и выбрасывает его через шахту в атмосферу. Особенно эффективной приведенная система оказалась при сварке и наплавке порошковой проволокой и лентой. При силе сварочного тока 800 А эффективный расход воздуха для местного отсоса составляет 200 м³/ч. В качестве вентилятора № 1 рекомендуется применять малогабаритные вентиляторы Ц4-70 № $2^1/_2$ или Ц14-46 № 2, агрегированные на одном валу с электродвигателем. В качестве вентилятора может быть использован любой центробежный вентилятор низкого давления.

Представляют интерес вытяжные установки для вентиляции рабочих мест сварщиков, которые могут автоматически перемещаться в зону сварки и обеспечивать эффективный отсос вредных веществ. На рис. 56 — одна из таких конструкций, разработанная Одесским специальным проектно-конструкторским институтом (СПКИ) для завода им. Октябрьской революции (г. Одесса). Местный отсос в виде наклонной панели присоединен воздуховодом к подвижной каретке, перемещающейся вдоль вытяжного короба длиной до 6 м. Нижняя стенка короба представляет собой набор подвижных пластин, установленных одна над другой и перемещающихся вдоль короба по направляющим пазам. Внутри короба смонтирован привод, соединенный при помощи роликов и троса с кареткой, на которой закреплен отсос. На каретке размещен упор для замыкания конечных выключателей, управляющих двигателем перемещения. Сбоку от сварочного стенда на полу имеется специальная эстакада с педалями в виде уложенных в ряд пластин. Когда сварщик становится на педаль, замыкаются контакты, дающие команду на перемещение каретки с отсосом к требуемой точке. Мощность электродвигателя привода 80 Вт, расход воздуха на одну панель 2500 м³/ч при радиусе зоны эффективного улавливания 0,5 м.

Р. М. Бронштейном [2] разработана следующая конструкция вытяжного устройства, автоматически перемещающаяся за сварщиком (рис. 57). Перемещение осуществляется с использованием световых лучей, испускаемых сварочной дугой. Вытяжная панель *1* местного отсоса снабжена следящим устройством *3*, электрически связанным с механизмом перемещения. Вытяжная панель *1* установлена на подвижной каретке *2*. Следящее устройство *3* помещено на лицевой стороне панели *1* и представляет собой трехсекционный диффузор с тремя фотодиодами *4—6*, посылающими сигналы на исполнительный механизм. Исполнительный механизм (ИМ) состоит из электродвигателя *7* и редуктора *8*, связанного с кареткой *2*.

Установка работает следующим образом. В зависимости от расположения вытяжной панели *1* относительно точки сварки световые лучи сварочной дуги попадают в одну из зон *I*, *II*, *III* следящего устройства *3*. Если, например, точка сварки находится справа и сварной шов *9* удлиняется слева, луч попадает в зону *III*, фотодиод

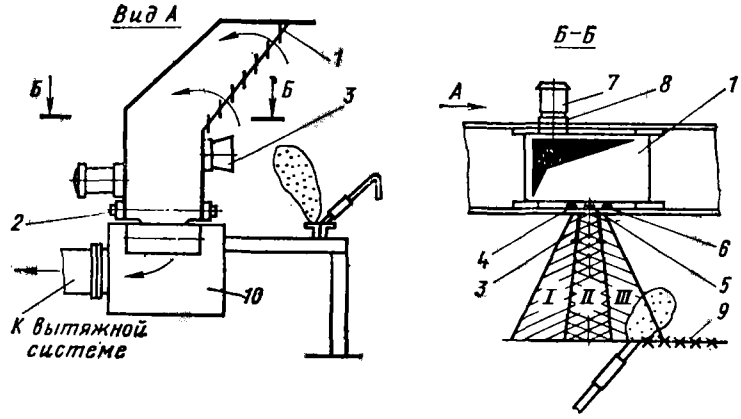


Рис. 57. Схема местного отсоса конструкции СПКИ (г. Одесса), управляемого фотоэлементами

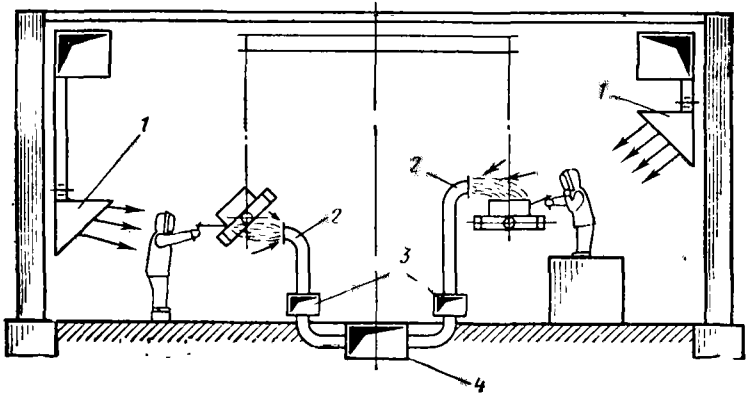
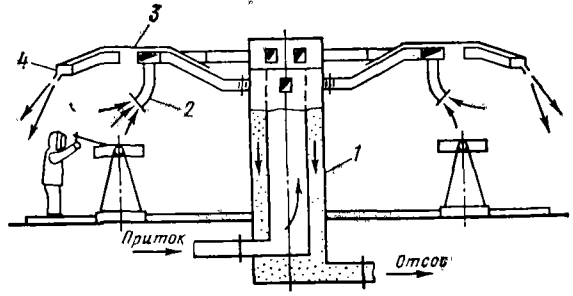


Рис. 58. Схема вентиляции конвейерной линии по принципу активированного отсоса



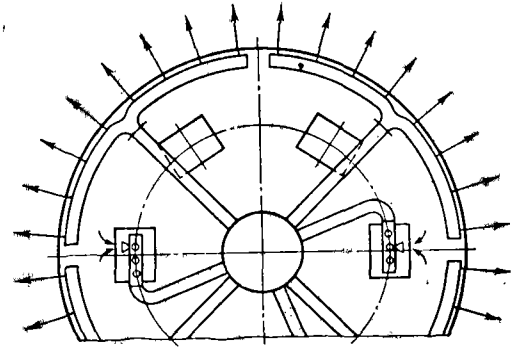


Рис. 59. Местная вентиляция установки типа «Карусель» конструкции Одесского СПКИ

6 посылает сигнал на исполнительный механизм «вперед». Панель *I* будет перемещаться вперед до тех пор, пока луч от сварочной дуги не попадет в зону *II*, тогда фотодиод *5* подаст сигнал «стоп» на ИМ. В зоне *II* сварка производится на участке, где обеспечивается эффективное улавливание вредных веществ. Как только точка сварки сместится еще больше влево и световые лучи от дуги попадут в зону *I*, фотодиод *4* выдаст команду «назад». ИМ будет перемещать назад каретку с панелью, пока световые лучи не попадут в зону *II*, тогда панель остановится. Конструкция панели выбирается по месту в зависимости от размера свариваемого изделия. В описанной схеме местного отсоса расход воздуха 2500 м³/ч.

Весьма перспективным является использование местных отсосов в сочетании с приточными струями. Правильно организованный приток способствует поддуванию вредных веществ к местным отсосам, создает оптимальные гигиенические условия для рабочих [2].

Крупные конвейерные линии, как правило, монтируют в центре рабочего пролета (рис. 58). Поэтому приточные патрубки *1* рекомендуется размещать с боков пролета и направлять воздушные струи к конвейеру. Местные отсосы *2* устанавливают с внутренней стороны конвейера и присоединяют к зональным коллекторам *3*, которые прокладываются над полом в непосредственной близости от свариваемого изделия. Загрязненный воздух отсасывается в общецеховой вытяжной коллектор *4*. Приточные патрубки смонтированы так, что струи чистого воздуха обдувают сварщика и изделие со скоростью 0,5—0,7 м/с, унося вредные вещества к местным отсосам.

Отсосы выполняют съемными и в зависимости от технологии устанавливают в требуемом месте и на оптимальной высоте. При проектировании и эксплуатации указанной схемы вентиляции необходимо тщательно проверять, чтобы струи приточного воздуха не попадали с большой скоростью на поверхности свариваемых изделий и металлоконструкции линии, так как при ударе струи о поверхность вредные вещества будут разноситься по помещению. Скорость воздуха около 0,7 м/с на рабочих местах сварки вряд ли целесообразна, так как в таких условиях будет затруднена работа местных отсосов, а при полуавтоматической сварке возникнет опасность нарушения газовой защиты шва.

По такой же схеме смонтирована вентиляционная установка типа «Карусель» на пяти сварочных постах «Гомельсельмаш», предназначенная для аспирации вредных веществ, выделяющихся на конвейерной линии сварки нижней рамы комбайна (рис. 59). Установка состоит из центральной колонны *1*, где размещены каналы чистого приточного и загрязненного вытяжного воздуха. У конвейерной линии над сварочными кондукторами установлены вытяжные панели *2*, улавливающие вредные вещества. Над панелями размещен кольцевой зонт *3*, по краю которого установлены приточные воздуховоды *4*, создающие при помощи плоских струй кольцевую воздушную завесу. Приточные струи отделяют сварочный конвейер от остального пространства цеха, препятствуют подтеканию загряз-

ненного воздуха с соседних участков и обеспечивают зону дыхания чистым воздухом. Общий расход воздуха на всю установку составляет 20 000 м³/ч. Несмотря на громоздкость указанной установки и большой расход воздуха (4000 м³ на один пост), установку можно рекомендовать к применению, так как на рабочие места сварщиков обеспечивается подача свежего наружного воздуха, благодаря чему создаются благоприятные условия труда.

При сварке крупногабаритных изделий целесообразно применять предложенные ВНИИОТом высоковакуумные системы с переносны-

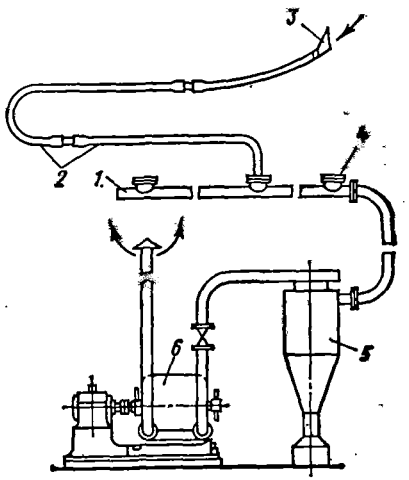


Рис. 60. Вытяжная система с отсосами на гибких шлангах и высоковакуумным побудителем:

1 — коллектор из стальных труб; *2* — переносные гибкие шланги; *3* — местный отсос; *4* — штуцер с заглушкой; *5* — циклон; *6* — вакуум-насос

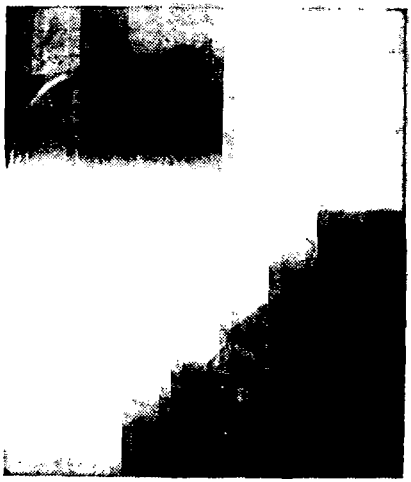


Рис. 61. Вытяжная установка с индивидуальным агрегатом фирмы Wedentan (ФРГ)

ми пылегазоприемниками (рис. 60) [27]. В последнее время такие системы используются в крупных сборочно-сварочных цехах для удаления вредных веществ на местах полуавтоматической сварки. В течение ряда лет подобная система успешно эксплуатируется в кузовном цехе Кременчугского автозавода и обслуживает 90 сварщиков, работающих полуавтоматами для сварки в среде углекислого газа токами силой 300—500 А. Конструкции местных отсосов полуавтоматов разработаны в отделе главного сварщика завода. От местного отсоса, в зависимости от технологии и силы тока, удаляется 70—100 м³/ч воздуха. В цехе проложен закольцованный коллектор из стальных труб. Удаление загрязненного воздуха производится двумя вакуум-насосами, установленными в подвале и работающими параллельно. Разрежение в системе примерно 30 кПа.

В зарубежной практике серийно выпускаются и широко применяются индивидуальные переносные вентиляционные агрегаты с вы-

соковакуумными побудителями и фильтрами для очистки воздуха (рис. 61). Так, держатели для сварки в среде CO_2 со встроенным местным отсосом, гибким шлангом, вакуум-насосом и фильтром выпускают фирмы Bernard (США), Dansk Oerlikon (Дания), Nederman (ФРГ) и др. Считается, что газообразные вредные вещества быстро рассеиваются в цехе, поэтому фильтры обеспечивают очистку воздуха только от пыли. Фильтры применяют кассетные, пористого типа, которые могут работать до 20 ч. После этого кассеты снимают и заменяют новыми. Фирма Dansk Oerlikon предлагает фильтр с на-

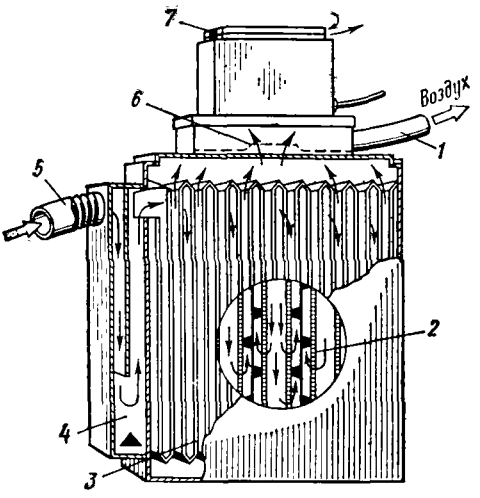


Рис. 62. Индивидуальный агрегат фирмы Bernard с фильтром:

1 — нагнетательный шланг; *2* — фильтрующий элемент; *3* — сменная кассета фильтра; *4* — искрогаситель; *5* — всасывающий шланг; *6* — вход в вентилятор; *7* — вход воздуха, охлаждающего мотор вентилятора

бором из 20 соединенных друг с другом последовательно камер размером 0,36 × 0,45 м. Загрязненный сварочным аэрозолем воздух перетекает из одной камеры в другую через многочисленные отверстия в стенках и очищается от пылевых частиц. Эти камеры легче пористых фильтров и в 6 раз дешевле.

На рис. 62 показан индивидуальный вентиляционный агрегат фирмы Bernard [5]. Габаритные размеры агрегата 41 × 355 × × 690 мм, масса 30 кг. Производительность многоступенчатого центробежного вентилятора 100 м³/ч, максимальное разрежение 15 кПа. Фильтрующий элемент сменный, степень очистки позволяет, по мнению фирмы, выбрасывать воздух в производственные помещения. Так как в указанных агрегатах фильтры обеспечивают очистку воздуха только от сварочного аэрозоля, а токсичные газы почти не улавливаются, нежелательно долго пользоваться такими агрегатами при сварке в замкнутых и полузамкнутых объемах, а также в небольших производственных помещениях. Обязательно наряду с местной должна работать общеобменная вентиляция для проветривания помещений.

В настоящее время ряд научно-исследовательских организаций разрабатывает отечественные вентиляционные агрегаты с фильтрами, предназначенные для сборочно-сварочных цехов.

7. МЕСТНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ ПРИ ТЕПЛОВОЙ РЕЗКЕ МЕТАЛЛА

Как уже отмечалось, неблагоприятные условия труда рабочих, занятых тепловой резкой, оказывают значительное влияние не только на здоровье, но и на производительность и качество их труда. Это связано с тем, что процессы тепловой резки, особенно плазменно-дуговой, отличаются большой вредностью. Поэтому все рабочие места и участки должны быть оборудованы эффективной системой вентиляции, как местной (лучше всего встроенной), так и общеобменной.

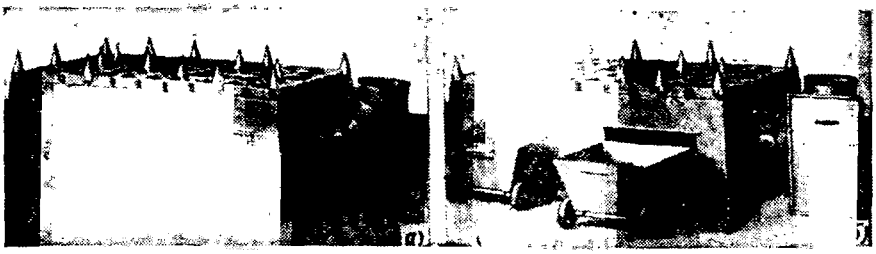


Рис. 63. Стол для газовой резки (ФРГ):
а — общий вид стола; *б* — удаление отходов после резки

При резке на современных газорезательных машинах рабочий находится дальше от источников выделения вредных веществ, чем при ручной резке. Поэтому задача максимальной механизации и автоматизации этих процессов, особенно плазменной резки, является одним из основных путей оздоровления условий труда.

Так как при резке на нестационарных рабочих местах практически осуществить местный отсос невозможно, ее следует вообще запретить или прибегать к ней в крайнем случае. Ручную резку необходимо выполнять только на стационарных раскроечных столах, снабженных местным отсосом (рис. 63). Так как для улавливания вредных веществ требуется значительный расход воздуха, стол подключают к отдельному вентилятору. Лист 3 × 1,5 м укладывают на опорные вершины и разрезают, при этом грат падает вниз, в тележки с водой.

Отечественные столы для ручной резки выполняют, как правило, секционными, причем каждая секция соединена с вытяжным патрубком сбщецеховой системы и включается только тогда, когда в ее зоне происходит резка, остальные секции закрыты. Рекомендуемый объем удаляемого воздуха — 2000—2500 м³/ч на 1 м² площади раскроечного стола при кислородной резке и 3000—3500 м³/ч — при плазменно-дуговой резке, особенно нержавеющих и высоколегированных сталей [19, 21]. Так как установлено, что валовые выделения пыли увеличиваются с увеличением толщины разрезаемого

проката, соответственно бо́льшие значения расходов воздуха следует принимать при резке сталей толщиной свыше 20 мм.

В отечественной и зарубежной практике при конструировании секционированных местных отсосов на столах для тепловой резки открывание клапанов отсосов осуществляется автоматически или вручную. В литературе описан ряд конструкций столов для кислородной и плазменной резки, в которых управление работой местных отсосов осуществляется автоматически, с помощью различных электромеханических или фотоэлектронных устройств. Фирма Lukens Steel Co (США) предлагает стол для резки (патент № 3701514). В бункере стола под разрезаемым листом установлено большое число трубчатых вытяжных каналов, расположенных диагонально относительно стола. В каждом вытяжном канале установлен клапан, открывающийся и закрывающийся с помощью рычажного механизма, соединенного с пневматическим приводом. В каналах вблизи клапанов установлены фотоэлементы, чувствительные к излучению пламени резака. Фотоэлементы управляют работой приводов клапанов. Если резка не производится, все клапаны закрыты.

При резке, когда пламя резака проходит над каким-либо фотоэлементом, он подает сигнал на систему открывания клапана своего вытяжного канала, расположенного непосредственно под резаком. Клапан открывается и обеспечивает эффективный отсос дыма и газов, которые удаляются в фильтрационную камеру. При дальнейшем перемещении резака первый клапан закрывается и открывается следующий. Система вытяжных каналов и фотоэлектрических датчиков расположена так, что обеспечивается удаление дыма при резке деталей любой формы и размеров при минимальном количестве удаляемого воздуха. Отсос загрязненного воздуха с большими концентрациями вредных веществ позволяет осуществить очистку вентиляционных выбросов и добиться снижения эксплуатационных расходов.

На рис. 64 показана вытяжная установка, смонтированная на стенде для резки труб диаметром 600 мм. Трубы устанавливаются на роликовых стендах, а конец закрепляется в поворотной планшайбе. Резка выполняется двумя газовыми резаками, установленными в диаметрально противоположных точках снаружи. Удаление загрязненного воздуха осуществляется местным отсосом, установленным возле планшайбы. Для обеспечения равномерности всасывания воздуха по периметру трубы вытяжная щель отсоса имеет трапециевидное сечение. Эффективное улавливание вредных веществ достигается при скорости всасывания воздуха в открытом торце трубы до 2,5—3 м/с. Можно выполнять отсос загрязненного воздуха через полую ось планшайбы, что упростит конструкцию всей вытяжной системы.

В последнее время при производстве заготовок для сварных конструкций широко внедряют механизированные линии тепловой резки листового проката на базе современных фотокопировальных машин и машин с числовым программным управлением. Их внедре-

ние позволяет уменьшить трудоемкость операций резки в 2 раза при улучшении качества заготовок. Разрабатываемые линии разделяются на рольганговые и тележечные, одно- и двухрядные. При проектировании линий уделяется серьезное внимание местной вытяжной вентиляции.

Особенность резки листового проката на таких линиях заключается в том, что режущая струя со значительной скоростью проходит вниз под разрезаемый лист, ударяется о горизонтальные поверхности раскройной рамы и растекается к краям листа, выбиваясь

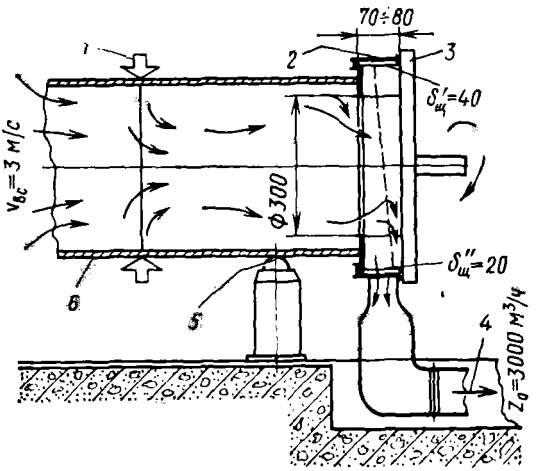


Рис. 64. Вытяжная установка от стенда резки труб:

1 — головки; *2* — кольцевой отсос Ø 700 мм; *3* — планшайба; *4* — воздуховод в подпольном канале; *5* — шаровой шарнир; *6* — труба

в помещение вместе с вредными веществами. На рис. 65, *а* показана вытяжная установка с двухсторонними отсосами. Раскроечные рамы, на которых укладываются листы металла, имеют ребра, установленные с шагом 150 мм. По краям линии проложены вытяжные каналы с вытяжными патрубками длиной до 0,6 м, имеющие индивидуальные дроссель-клапаны. При движении портала газорезательной машины вдоль разрезаемого листа специальное устройство нажимает на установленные выключатели, которые открывают соответствующие дроссель-клапаны патрубков с противоположных сторон листа. Расходы удаляемого воздуха значительные; линию обслуживает вытяжной вентилятор низкого давления № 8. Особое значение придается уменьшению зазоров между краем разрезаемого листа и вытяжными патрубками. Поэтому у вытяжных коробов установлены откидные щитки, которые при резке опускаются горизонтально и снижают непроизводительные подсосы воздуха.

Для уменьшения энергозатрат разрабатывались различные конструкции односторонних отсосов для машин и линий кислородной и плазменной резки. Однако вредные вещества удалялись только при резке вблизи пылегазоприемника, причем при укладке листа на значительном расстоянии от отсоса либо при смещении резаков к даль-

нему от отсоса краю листа практически большая часть вредных веществ уходила в помещение.

Машины плазменной резки листового проката могут устанавливаться не только в поточных линиях, но и отдельно. Схема местной вентиляции машины АСШ-70, разработанная и внедренная на Новозыбковском заводе «Индуктор», показана на рис. 65, *б* [31]. Механизированная тележка, на которой установлена машина плазменной резки, установлена внутри укрытия, боковые стенки которого обшиты листовым металлом, сверху укреплен зонт. Спереди, где расположено рабочее место оператора и пульт управления, тележка обшита листом до половины, так что остается проем для наблюдения. С задней стороны к обшивке укрытия крепится воздуховод диаметром 600 мм. На одной из стенок укрытия закреплена брезентовая штора, которая прилегает с постоянным зазором 200 мм к воздуховоду сечением 700 × 800 мм, проложенному по всей длине перемещения тележки. Воздуховод соединен с вытяжной цеховой системой. Во время работы плазмотрона брезентовая штора под действием создаваемого вентилятором разрежения плотно прилегает к продольному воздуховоду, обеспечивая надежный отсос вредных веществ.

В ВИСПе для механизированных тележечных линий воздушно-плазменной резки были спроектированы эффективные односторонние местные отсосы, показанные на рис. 66. Отсос испытывали в лабораторных условиях на модели и в опытно-промышленных условиях. Большой положительный эффект дает применение сдувающей струи, направленной к отсосу от противоположного борта рамы под разрезаемым листом. При этом сдувающая струя способствует повороту загрязненной режущей струи к отсосу. Оптимальным является направление сдувающей струи к точке удара загрязненной режущей струи о днище рамы, при этом эжектируются даже отдельные выбивающиеся клубы дыма.

При конструировании опытной вентиляционной установки для машин плазменной резки типа «Юг» было применено секционирование раскроечных рам вертикальными ребрами, доведенными до днища, с шагом 150 мм. Активирование бокового отсоса производилось компактной струей сжатого воздуха, подаваемого из регулируемого патрубка диаметром 10 мм. Отсос и патрубок располагались у противоположных краев раскроечной рамы и жестко соединялись с порталом газорежущей машины. Схема местной вентиляции показана на рис. 66.

Эффективный отсос вредных выделений достигается при удалении боковым отсосом 1100 м³/ч воздуха и расходе на сдувающую струю 25 м³/ч сжатого воздуха. Всасывающее отверстие отсоса размером 200 × 100 мм расположено в горизонтальной плоскости на одной оси с режущей головкой и обеспечивает удаление вредных веществ из двух-трех смежных секций рамы. Местный отсос присоединен к подвижным воздуховодам с шарнирно-сочлененными секциями. Последнее звено подвижного воздуховода ⌀200 мм присоединено к вертикальному стационарному воздуховоду такого же сечения,

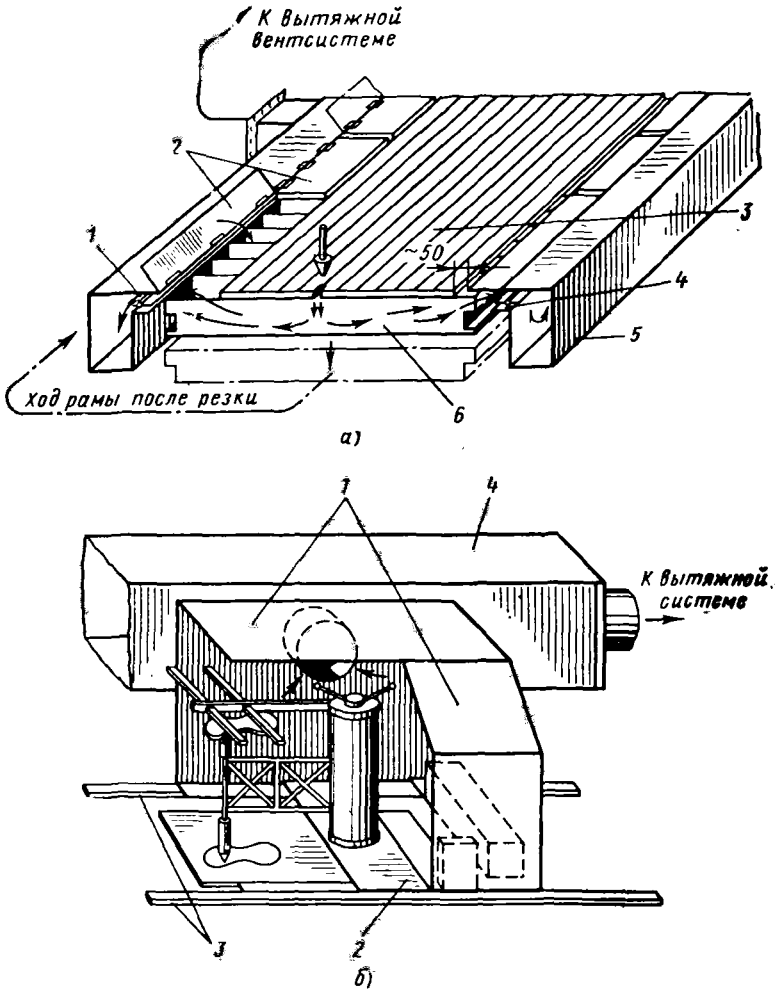


Рис. 65. Местная вентиляция при механизированной резке:

а — на портальных машинах типа «Кристалл»: *1* — клапан 600×100 мм; *2* — откидной щиток 600×200 мм; *3* — лист; *4* — вытяжной патрубок; *5* — сборный канал; *6* — рама; *б* — на шарнирных машинах типа АСШ-70: *1* — укрытие; *2* — тележка; *3* — рельсы; *4* — вытяжной воздуховод

имеющему вверху шарнирное соединение. Для регулирования расхода воздуха в вертикальном неподвижном участке воздуховода установлен дроссель-клапан.

При монтаже таких систем особое внимание должно уделяться обеспечению плотности в шарнирных соединениях подвижных воздуховодов и в месте примыкания отсоса к раме и листу. Расстояние между козырьком отсоса и краем листа должно быть не более 50 мм. Скорость удаления воздуха в секциях рамы — не менее 3 м/с. Применение сдувающей струи позволяет снизить расход воздуха на отсос вредных веществ примерно в 1,5 раза.

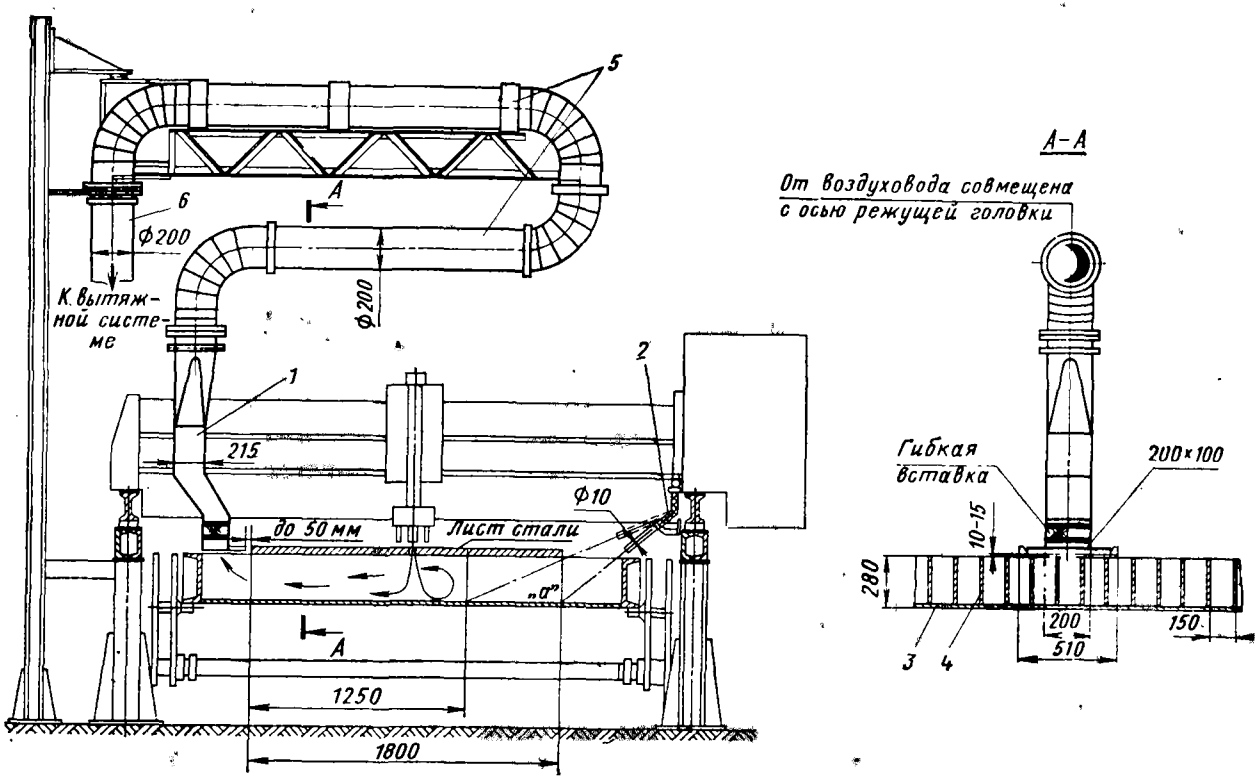


Рис. 66. Схема местного отсоса от газорезательной машины «Юг»:

1 — боковой отсос; *2* — патрубок сжатого воздуха; *3* — раскройная рама; *4* — ребра; *5* — подвижные вытяжные воздуховоды; *6* — стационарный воздуховод

Значительные концентрации сварочного аэрозоля отмечаются в вытяжных системах, обслуживающих посты полуавтоматической сварки в среде CO_2, машины для наплавки порошковой проволокой и лентой, а также машины плазменной резки металла.

Действующий СНиП II-33—75 устанавливает допустимые содержания пыли в воздухе, выбрасываемом в атмосферу [3].

Определим, например, какова будет допустимая концентрация сварочного аэрозоля (в мг/м³) в выбросах вытяжной системы от сварочных полуавтоматов с общим расходом воздуха 3500 м³/ч по формуле:

$$C = (160 - 4\ L_0)k, \qquad (42)$$

где L_0 — объем удаляемого воздуха, тыс. м³/ч; k — коэффициент, принимаемый в зависимости от ПДК; при допустимой концентрации от 2 до 4 мг/м³ $k = 0{,}6$. Таким образом,

$$C = (160 - 4 \times 3{,}5) \cdot 0{,}6 = 146{,}0 \cdot 0{,}6 \cong 88 \text{ мг/м}^3.$$

Максимальная концентрация в удаляемом от полуавтомата воздухе на больших сварочных токах может составлять 900—1000 мг/м³. Можно считать, что с учетом коэффициента одновременности работы сварщиков, равного 0,8, максимальная концентрация аэрозоля в выбросах может быть 750—800 мг/м³, что превышает допустимую величину 88 мг/м³.

По данным Н. И. Мосолова, для очистки вентиляционных выбросов от сварочного аэрозоля могут применяться пластинчатые электрофильтры, обеспечивающие при скорости движения воздуха 1 м/с степень очистки более 94%. Однако электрофильтры можно рекомендовать для крупных вытяжных систем, так как их стоимость и стоимость источников высокого напряжения значительна. Отечественные пористые фильтры вследствие небольшой пылеемкости фильтрующих материалов быстро выходят из строя и требуют замены элементов, поэтому их применение следует ограничивать. Одним из решений вопроса выбросов может явиться снижение концентраций в них вредных веществ за счет подключения местных вытяжных систем к выбросам систем общеобменной вытяжной вентиляции.

При работе местных индивидуальных агрегатов для сварочных постов, выбрасывающих воздух после очистки в производственные помещения, следует контролировать, чтобы концентрация сварочного аэрозоля в выбросах не превышала 30% ПДК, т. е. например, величины 1,2 мг/м³ при сварке низколегированных сталей.

IV. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЕНТИЛЯЦИИ СВАРОЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

1. ПРИНЦИПЫ ОБЩЕОБМЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ СВАРОЧНЫХ ЦЕХОВ

Для достижения наибольшего санитарно-гигиенического эффекта от вентиляции необходимо, чтобы помимо местных отсосов в цехе действовала общеобменная вытяжная вентиляция, рассчитанная

на растворение неуловленных местными отсосами вредных веществ и приток, обеспечивающий возмещение удаленного из цеха воздуха.

В современной практике проектирование рациональных систем общеобменной вентиляции ведется в комплексе с воздушным отоплением (в зимний период) или охлаждением (в летний период) этих помещений. Совмещенные системы вентиляции и воздушного отопления проектируются с сосредоточенной подачей приточно-отопительного воздуха, обеспечивающей интенсивную искусственную циркуляцию воздуха, равномерность его температуры и состава по всему объему помещения. Сосредоточенная подача воздуха чаще всего осуществляется в виде одной или нескольких мощных струй через регулируемые насадки, которые позволяют менять направление воздушных струй и обеспечивать необходимую подвижность и циркуляцию воздуха в рабочих зонах. При полуавтоматической сварке сталей в среде CO_2 подвижность воздуха в рабочих зонах должна быть не более 0,5 м/с, а при полуавтоматической сварке цветных металлов в среде аргона — 0,3 м/с. Помимо этого нужно еще обеспечивать необходимую температуру приточного воздуха для получения заданных метеорологических параметров конкретного помещения.

Кроме общих данных, необходимых для проектирования (количество и характеристики вредных веществ и т. д.), при разработке таких систем необходимо учитывать, что равномерного выделения вредных веществ по площади или по высоте на практике не бывает: аэрозоли и газы выделяются в определенных зонах, по вертикали и по горизонтали. Воздушными потоками они разносятся по помещению. Нужно знать, где образуются относительно «чистые» и «грязные» зоны, и обеспечивать подачу свежего воздуха в чистую зону, а также удаление его из загрязненных зон. С некоторым упрощением можно сказать, что в сварочных цехах наибольшие концентрации вредных веществ содержатся в верхних зонах помещения и наименьшие — в нижних. Однако следует учитывать, что кроме основной циркуляции воздуха, вызываемой конвективными потоками у мест интенсивной загрузки сварочными процессами, имеются ниспадающие потоки холодного воздуха у наружных стен и другие факторы, обусловливающие возникновение местных циркуляционных зон.

Так как в задачу книги не входит подробное рассмотрение вопросов выбора, расчета и конструирования систем общеобменной вентиляции, достаточно полно освещенных в специальной литературе [5, 22], остановимся лишь на общих вопросах и описании некоторых действующих систем, а также на рекомендациях для практического использования.

Имеющийся большой опыт эксплуатации вентиляционно-отопительных систем с сосредоточенной подачей воздуха показал, что при достаточной санитарно-гигиенической эффективности эти системы являются экономичными.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОГО ВОЗДУХООБМЕНА

Проектирование общеобменной вентиляции сварочных производств необходимо проводить с учетом тщательного изучения многих факторов: размеров помещения, особенностей конкретного вида сварки, условий выделения вредных веществ и т. д. Основной задачей при проектировании общеобменной вентиляции является правильное определение потребного воздухообмена, которое производится на основании данных о количестве выделяющихся вредных веществ. Когда количество выделяющихся вредных веществ известно, определение потребного воздухообмена (в м³/ч) можно выполнить по приближенной формуле

$$L = \theta G / k_{доп}, * \qquad (43)$$

где G — количество выделяющихся вредных веществ, г/ч; $k_{доп}$ — ПДК вредных веществ в рабочей зоне, в мг/м³; θ — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения вредных веществ по объему помещения, т. е. соотношение концентраций вредных веществ в рабочей зоне и средней по помещению.

Значения θ рекомендуется принимать от 1,2 до 2, меньшие значения — для малотоксичных вредных веществ и при относительно равномерном распределении источников, максимальные значения — для более токсичных вредных веществ и при их неравномерном выделении. В случаях интенсивного выделения аэрозоля (сварка в CO_2 на форсированных режимах и др.) коэффициент θ рекомендуется увеличивать до 3.

Для практического применения расчетный воздухообмен в зависимости от свариваемых и сварочных материалов для различных способов сварки и тепловой резки, рекомендуется определять с помощью данных, приведенных в приложениях 2—4, в которых приведены валовые выделения доминирующего для каждого вида работ вредного вещества и потребное количество приточного воздуха для их локализации при $\theta = 1$.

При расчете потребного воздухообмена для разбавления вредных газов и аэрозолей до ПДК принимается количество приточного воздуха по тому вредному веществу, которое требует наибольших объемов (ведущее вредное вещество). Однако при совместном выделении веществ однонаправленного действия (например, при плазменной обработке металлов), потребное количество воздуха в соответствии с СН 245—71 исчисляется для каждого вредного вещества в отдельности и полученные объемы воздуха суммируются.

В литературе последних лет можно встретить многочисленные рекомендации, касающиеся потребного воздухообмена при ручной и полуавтоматической сварке. Так, для небольших сварочных цехов и участков при отсутствии местных отсосов зарубежные источники

* Более точная формула приведена в приложении II [24].

Таблица 8

Удельное количество воздуха для расчета общеобменной вентиляции на 1 кг расходуемых сварочных материалов (при $\theta = 1$)

Вид сварки	Сварочные материалы	Удельный воздухообмен для разбавления до ПДК, м³/кг		
		пыль	Mn	HF
Ручная сварка	АНО-6	4100	6600	—
Полуавтоматическая сварка в CO_2	Св08Г2С	2000	1300	—
Полуавтоматическая сварка порошковой проволокой	ПП-ДСК-1	2900	2600	—
Сварка под флюсом	ПП-АН-3	3400	4500	5400
	ОСЦ-45	—	100	400
	АН-348А	—	100	200

[40] рекомендуют принимать следующий воздухообмен в зависимости от диаметра электрода (без учета марки):

Диаметр электрода, мм	4	5	6	10
Воздухообмен на одного сварщика, м³/ч	1700	2550	6000	7650

По литературным данным, в США [39] предлагается при расчетах потребного воздухообмена для небольших цехов с полуавтоматической и ручной дуговой сваркой при отсутствии местных отсосов принимать расход воздуха на одного сварщика 3400 м³/ч.

В ГДР для определения кратности воздухообмена и необходимого объема воздуха для разбавления вредных веществ до ПДК пользуются эмпирическим графиком. Для сварки на столах, оборудованных местными отсосами, эти данные выбираются в зависимости от диаметра электрода (рис. 67).

К приведенным зарубежным данным следует относиться с большой осторожностью, что показывает сопоставление их с данными отечественной практики и рекомендациями СНиП II-33—75. Кроме того, расчет потребного воздухообмена по кратности в нашей стране допускается лишь в исключительных случаях, когда отсутствуют данные о количествах выделяющихся вредных веществ [24]. Так как количество и состав выделяющихся при сварке вредных веществ в основном зависят от применяемых сварочных материалов, при расчете потребного воздухообмена можно пользоваться данными удельного расхода воздуха для различных типов сварочных материалов (табл. 8) [5].

Проведем сравнительный анализ зарубежных и отечественных данных. Для примера возьмем ручную электродуговую сварку электродами типа АНО-6 ⌀ 5 мм на столах сварщика без местного отсоса (США) и с местным отсосом (ГДР, СССР). КПД местных отсо-

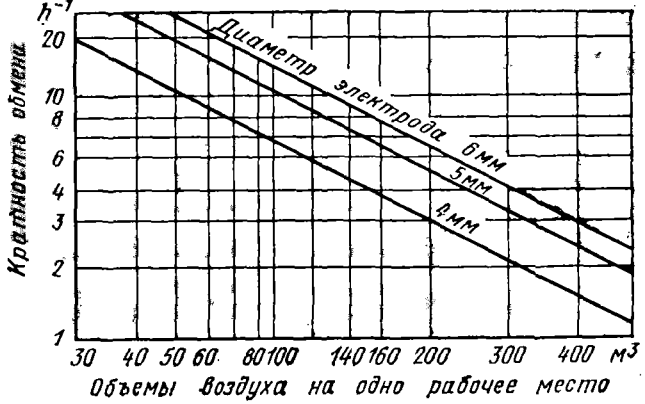


Рис. 67. График почасового воздухообмена для сварочных цехов

сов примем 0,9. Расход вентиляционного воздуха на одного сварщика составит:

по данным США . . . 2500—3400 м³/ч

по данным ГДР . . . 1000·1,1=1100 м³/ч (1,1 — коэффициент, учитывающий необходимость дополнительной общеобменной вентиляции)

по данным СССР . . . 1500+6600·0,1·1,5=2500 м³/ч (средний расход электродов — 1,5 кг/ч, объем отсасываемого воздуха местным отсосом — 1500 м³/ч).

3. ВЫБОР СХЕМ ОБЩЕОБМЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ СВАРОЧНЫХ ЦЕХОВ

При выборе схем общеобменной вентиляции необходимо учитывать, что конвективные потоки, свойственные сварочным и газорезательным процессам, выносят вредные вещества вверх. Эти потоки можно усилить за счет направленных струй приточного воздуха, например, снизу вверх. Можно также вредные вещества интенсивно направлять струями к воздухозаборным панелям. Однако следует иметь в виду, что нестойкие восходящие потоки часто нарушаются движением масс аэрационного воздуха, а также струями охлажденного у перекрытий воздуха, который с вредными веществами возвращается вниз. Часто в помещении возникают горизонтальные и вертикально-возвратные потоки, резко меняющие картину распространения вредных веществ по помещению и затрудняющие борьбу с ними.

Если воздух помещения искусственно перемешивается за счет направленных струй, сосредоточенного притока, а также за счет значительного воздухообмена, то концентрации вредных веществ по всей высоте помещения **практически выравниваются**.

Так как сварочные процессы сопровождаются большим пылевыделением, как правило, общеобменная вентиляция должна быть механической приточно-вытяжной с подогревом воздуха в зимнее время.

В соответствии с указаниями СНиП II-33—75 и санитарных правил при сварке [22] подача приточного воздуха в сварочных цехах должна осуществляться в рабочую зону. При этом допускается рассматривать подачу воздуха из воздухораспределителей, расположенных на уровне 6 м от пола, при струях воздуха, направленных вертикально вниз, а также при горизонтальных и наклонных струях на уровне не более 4 м как подачу воздуха в рабочую зону. Представляет интерес применение в зарубежной практике подачи воздуха

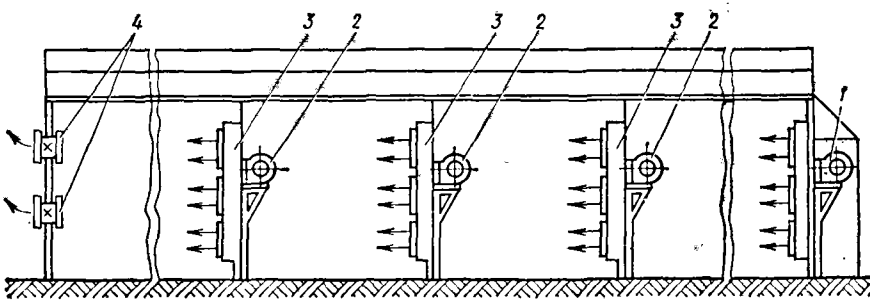


Рис. 68. Схема подачи приточного воздуха параллельными горизонтальными потоками в цехе большой длины (>100 м):

1 — основная система подачи приточного воздуха; *2* — дополнительные вентиляторы; *3* — раздаточные решетки; *4* — вытяжные вентиляторы

параллельными струями, которая выполняется в трех вариантах: 1) подача горизонтальными струями; 2) подача вертикальными струями, направленными вверх; 3) подача вертикальными струями, направленными вниз.

При схеме вентиляции с горизонтальными параллельными потоками (рис. 68) скорость потока должна быть достаточной для захватывания загрязненного конвективного потока, устремленного вверх. Экспериментально установлено, что минимальная скорость, при которой возможно вовлечение загрязненного воздуха, равна 0,1 м/с, то есть необходимая скорость параллельных потоков подаваемого воздуха должна быть равной или большей 0,1 м/с.

При вентиляции с направленными вверх параллельными потоками (рис. 69) условия являются наиболее благоприятными, так как сварочные газы и аэрозоли движутся в одном направлении с создаваемыми потоками. Для наибольшей эффективности масса параллельных потоков должна быть меньшей или равной количеству удаляемого из помещения воздуха.

Третья схема с подачей воздуха вертикальными струями, направленными вниз, является наименее целесообразной. Здесь естественные восходящие тепловые струи, возникающие над местами

сварки, опрокидываются вниз, что способствует загрязнению рабочей зоны и требует дополнительных энергозатрат.

В зарубежной практике наибольшее применение находит второй способ подачи. Ниже приводится описание такого метода вентиляции, осуществленной в новых сварочных цехах судостроительной фирмы «Хитати дзосен» (Япония). Через мелкие отверстия в вентиляционной решетке на полу помещения свежий воздух подается в цех со скоростью в живом сечении решетки 4,5 м/с. Растекаясь над решеткой, он образует вертикальные параллельные потоки, под-

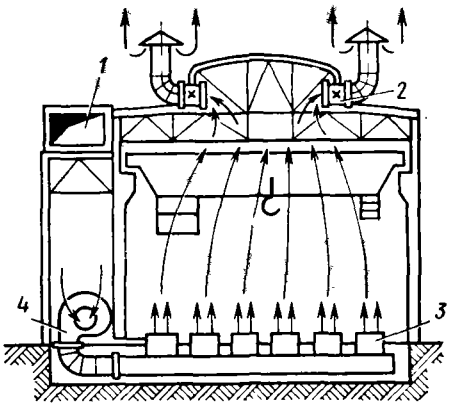


Рис. 69. Система подачи приточного воздуха по схеме параллельных потоков, направленных снизу вверх:

1 — воздухозаборный короб; *2* — вытяжная установка; *3* — приточная вентиляционная установка; *4* — воздухораспределительный короб с приточными решетками в полу

нимающиеся со скоростью 0,075 м/с, что обеспечивает захват всех сварочных газов и аэрозолей. Размеры вентиляционной решетки 23 500 × 43 500 мм, отверстия диаметром 50 и 40 мм расположены с шагом 250 мм. Подачу чистого воздуха в цех обеспечивают пять вентиляторов производительностью 680 м³/ч каждый, установленные в один ряд под полом. 12 вентиляторов (три ряда по 4 шт), установленные на крыше, производительностью по 550 м³/ч каждый всасывают поднятый сварочный дым, выбрасывая его наружу. В течение 20 мин работы всей системы концентрация вредных веществ снижается до 2 мг/м³, затем снижение замедляется, при этом обеспечивается практически поддержание концентраций в допустимых пределах в любое время года.

Система подачи воздуха горизонтальными параллельными потоками смонтирована в небольших сварочных цехах этой же фирмы (43 × 30 × 20 м). Семь вентиляторов производительностью 1000 м³/ч каждый, установленных в один ряд на опоре с одной стороны цеха, создают горизонтальные потоки. Семь вентиляторов, установленных на наружных стенах цеха с другой стороны производительностью 1000 м³/ч каждый, обеспечивают удаление сварочных дымов. При большой длине цеха (100 м и больше) расстояние между нагнетающим и отсасывающим устройством становится большим и не удается обеспечить стабильность направленного потока, в резуль-

тате чего вредные вещества как бы зависают и поднимаются вверх. В этом случае рекомендуется на промежуточных участках разместить дополнительные вентиляторы (или струйные аппараты), ускоряющие поток приточного воздуха (см. рис. 68).

В схеме, показанной на рис. 70, сосредоточенная подача воздуха происходит на высоте 4—6 м от уровня пола, а отсос осуществляется расположенными наверху вентиляторами. Скорость воздуха при нагнетании принимается не менее 8 м/с. Нагнетательные отверстия оборудованы регулируемыми жалюзи. Расстояние между нагне-

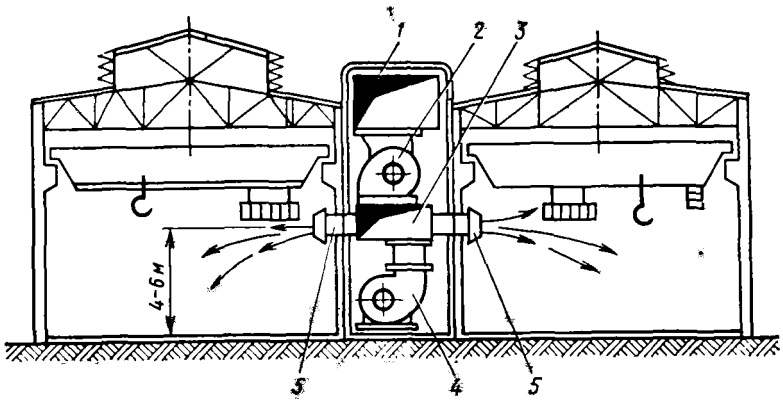


Рис. 70. Схема подачи приточного воздуха в зону максимальной концентрации вредных веществ:

1 — воздухозаборный короб; *2* — система забора приточного воздуха; *3* — нагнетательный воздуховод; *4* — система подачи приточного воздуха; *5* — воздухораспределительные патрубки

тающими и отсасывающими устройствами рекомендуется принимать в пределах 15—20 м (для конкретных условий нужен расчет). Производительность отсасывающих вентиляторов принимают на 10% больше расчетного воздухообмена.

При устройстве воздушных душей эти системы следует располагать отдельно, не совмещая их с системами приточной вентиляции. При конструировании общеобменной вентиляции нужно также учитывать возможность естественного проветривания (особенно в летнее время года и в южных районах).

В местностях с постоянными ветрами, когда при проектировании удается длинную боковую стену цеха расположить с подветренной стороны, можно в теплое время года отказаться от нагнетательных устройств, предусмотрев в стене проемы с регулируемыми (*и по* необходимости закрывающимися) жалюзи, используя естественные потоки ветра. Аэрация в сварочных цехах позволяет обеспечивать дополнительный воздухообмен для борьбы с тепловыделениями. Поэтому создание рациональной конструкции окон, фрамуг, фонарей, ворот, надежных систем их открывания и регулировки способствует эффективности цеховой системы вентиляции.

4. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ И ПУТИ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Эффективность систем общеобменной вентиляции определяется, в первую очередь, достижением необходимого санитарно-гигиенического эффекта при относительно небольших энергозатратах и металлоемкости систем. Известно, что применение сосредоточенной подачи воздуха в совмещенных вентиляционно-отопительных системах позволяет резко сократить протяженность сетей воздуховодов, за счет чего расход листовой стали можно уменьшить на 40—60%. Снижению металлоемкости также способствует применение (например, во Франции) для воздуховодов оцинкованных сталей толщиной 0,8—1,2 мм. Плотность воздуховодов обеспечивается сваркой сплошным швом, сборка на фланцах осуществляется также оцинкованными болтами и гайками, сами фланцы изготавливают из угловой стали или облегченных профилей толщиной 2 мм.

Основными путями снижения энергозатрат на вентиляцию сварочных цехов являются:

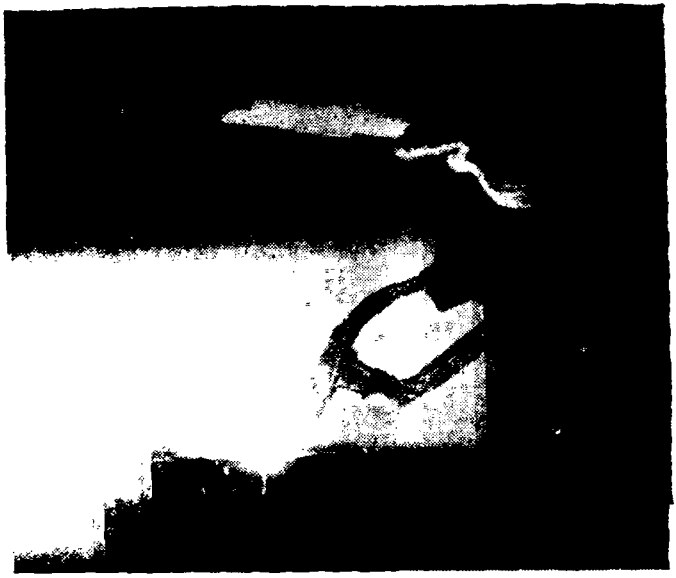
1) усовершенствование конструкций местных отсосов, их промышленное изготовление и повсеместное применение;

2) использование в дополнение к местной вентиляции рациональных схем подачи и удаления воздуха с минимальным коэффициентом θ неравномерности распределения вредных веществ по объему помещения;

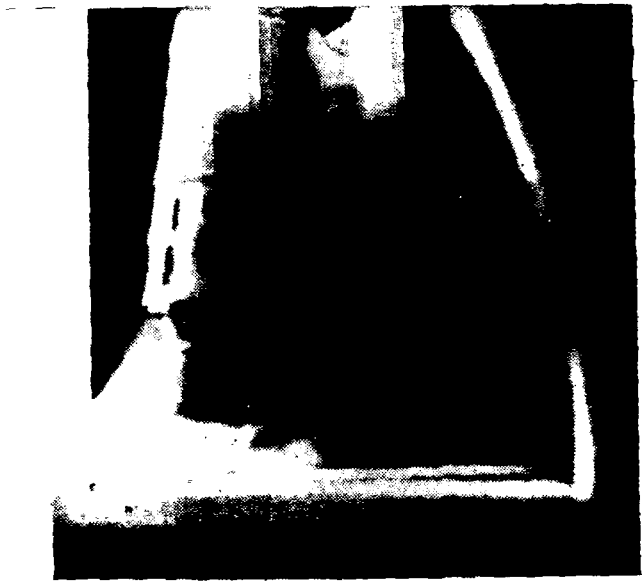
3) экономия металла за счет применения сосредоточенной подачи воздуха и других вышеупомянутых мер.

Преимущества местной вентиляции перед общеобменной покажем на примере вентиляции сборочно-сварочного цеха Фастовского завода газовых горелок и газоиспользующей аппаратуры Министерства газовой промышленности. В цехе 12 сварщиков работают на фиксированных местах и 18 выполняют сварку крупногабаритных изделий на сборочных плитах сварочными автоматами и полуавтоматами (в среде CO_2). Наиболее трудно решить проблему местной вентиляции на нефиксированных рабочих местах, где суммарные валовые выделения сварочного аэрозоля составляют 650 г/ч. Первоначальным проектом не была предусмотрена местная вентиляция на сборочных плитах и для разбавления выделяющихся вредных веществ требовалась подача до 150 000 м3/ч воздуха от систем общеобменной вентиляции. Авторами была предложена установка местных отсосов на полуавтоматах и автоматах с присоединением к общецеховой системе с высоковакуумным побудителем. При этом резко снизился объем воздуха для общеобменной вентиляции (до 63 000 м^3/ч). Столы для сварки, установленные в кабинах, подключены к общей вытяжной системе. Технико-экономический расчет показал, что по предложенной схеме приведенные затраты с учетом устройства вытяжной высоковакуумной системы снизились с 128 до 74 тыс. руб. в год. Значительно сократился расход тепла и топлива на подогрев приточного воздуха.

Таким образом, можно рекомендовать применение местных отсосов, которые легко устанавливаются на сварочных полуавтоматах А-537 и А-547 и обеспечивают эффективное улавливание вредных веществ (рис. 71). Исследования, проведенные авторами, показали, что указанные местные отсосы не нарушают газовой защиты зоны сварки (рис. 72), качество сварных швов хорошее.



Местный отсос на сварочном полуавтомате А-537 при *оволокой Ø 2 мм, $I_{св}$=400—450 А*



чый отсос, обеспечивающий взаимодействие стру *с со спектром отсоса*

Представляет интерес применение столов сварщика не только с целью местного удаления воздуха, но одновременно и для общеобменной вентиляции. Для этого на нагнетательном участке воздуховода, подключенного к вентиляционному агрегату стола, необходимо установить эжектирующее устройство (рис. 73). Если приток в рабочую зону осуществляется с небольшими скоростями, то горловину эжектора рекомендуется поместить на отметке M, где будет отмечена максимальная концентрация сварочного аэрозоля. Выбрасываемый вентилятором воздух будет эжектировать загрязненный воздух из верхней зоны цеха и удалять его в атмосферу через вертикальную шахту. Расчет эжектирующих устройств может быть выполнен по [6]. Выбор эжекторного воздухосмесителя по методике, предложенной П. С. Матвеенко, для общеобменной вытяжной вентиляции цеха покажем на следующем примере.

Оптимальной конструкцией воздухосмесителя является эжектор с диффузором на выходе (рис. 74, *а*). Несколько выше коэффициент эжекции, но хуже аэродинамические характеристики у бездиффузорного воздухосмесителя (рис. 74, *б*).

Пример. Известно количество воздуха, удаляемого вентиляционным агрегатом стола сварщика типа С 100.40, $L_0' = 2600$ м³/ч. Давление в выходном сечении сопла принимается обычно 100—150 Па.

Количество эжектируемого воздуха L_2 зависит главным образом от геометричетого параметра $m = F_2/F_0$, представляющего собой отношение площади камеры смешения эжектора к площади сопла. Соотношение между коэффициентом эжекции $U = \dfrac{L_2 - L_0}{L_0}$ и параметром m показано на графиках рис. 75. Приняв для воздухосмесителя с диффузором значение $U = 4$, находим по соответствующей экспериментальной кривой $m = 11$.

Сопло. Диаметр выходного сечения сопла эжектора (в м)

$$d_0 = 0{,}537 \sqrt{\frac{3{,}16 L_0}{\sqrt{p_0 \rho_0}}}, \qquad (44)$$

где L_0 — расход эжектирующего воздуха, поступающего через сопло, м³/с; p_0 — статическое давление в выходном сечении сопла, Па (в нашем расчете $p_0 = 150$ Па); ρ_0 — плотность эжектируемого воздуха, кг/м³ (можно принять $\rho_0 = 1{,}2$ кг/м³). Таким образом,

$$d_0 = 0{,}537 \sqrt{\frac{3{,}16 \cdot 0{,}72}{\sqrt{150 \cdot 1{,}2}}} = 0{,}129 \text{ м}.$$

По конструктивным соображениям принимаем $d_0 = 0{,}13$ м.

Камера смешения. Диаметр камеры смешения (в м) при $m = 11$

$$d_2 = \sqrt{0{,}785 m d_0^2}, \qquad (45)$$

$$d_2 = \sqrt{0{,}785 \cdot 11 \cdot 0{,}13^2} = 0{,}382 \text{ м}.$$

Принимаем $d_2 = 0{,}38$ м.

Оптимальное расстояние от среза сопла до начала камеры смешения

$$l_c = \frac{d_2 (\sqrt{m} - 0{,}986)}{6{,}8 \sqrt{m}}. \qquad (46)$$

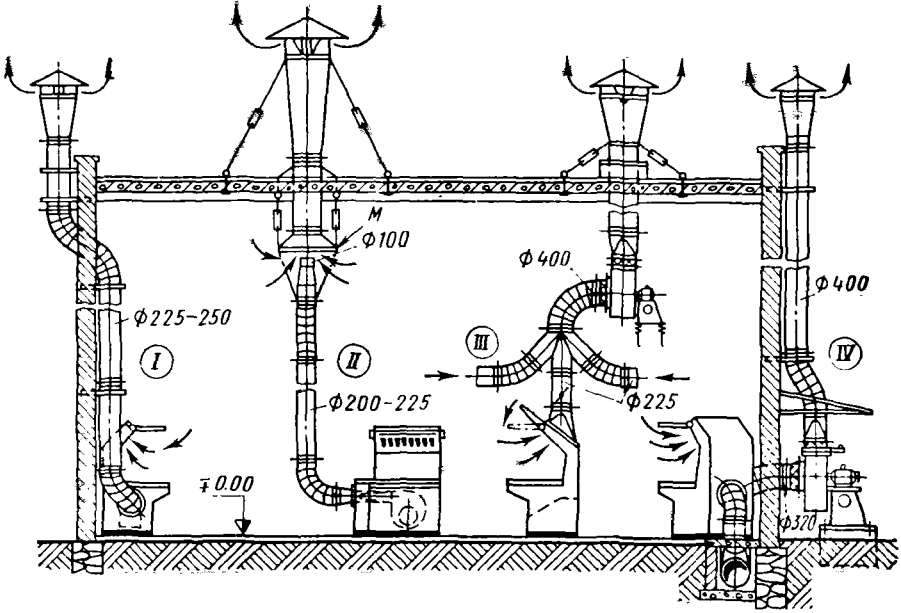


Рис. 73. Схема установки столов сварщика на сварочных участках (отметка М — зона максимальной концентрации вредных веществ)

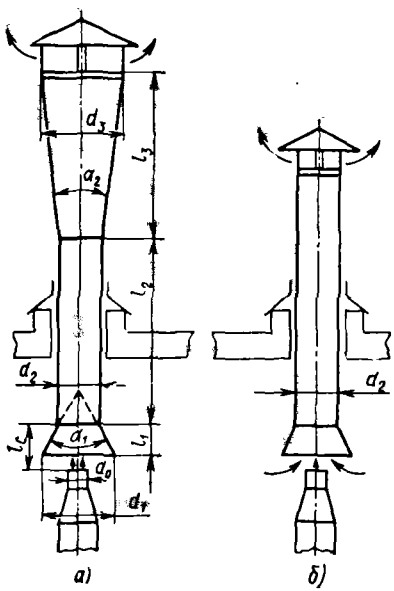


Рис. 74. Конструкции эжекторных воздухосмесителей:
а — с диффузором; б — без диффузора

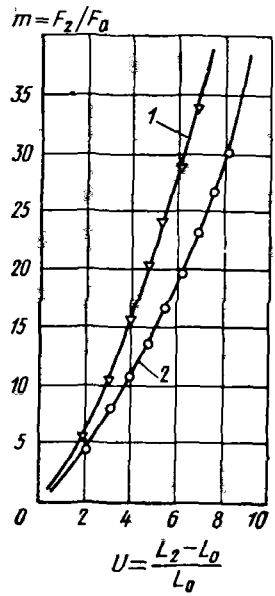


Рис. 75. Зависимость коэффициента эжекции воздухосмесителя от геометрического параметра m:
1 — бездиффузорный воздухосмеситель; 2 — воздухосмеситель с диффузором

При $d_2 = 0{,}38$ м и $m = 11$

$$l_c = \frac{0{,}38\,(\sqrt{11} - 0{,}986)}{6{,}8\sqrt{11}} = 0{,}04 \text{ м}.$$

Входной коллектор воздухосмесителя. Центральный угол входного коллектора α_1 рекомендуется принимать $40° = 80°$. Длина коллектора (в м)

$$l_1 = (0{,}2 \div 0{,}5)\, d_2. \tag{47}$$

Таким образом, $l_1 = 0{,}4 \cdot 0{,}38 = 0{,}15$ м.

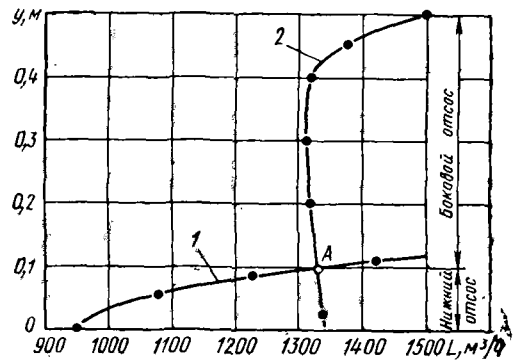


Рис. 76. Графики для подбора типов местных отсосов при электросварке электродами Ø 5 мм: 1 — нижний отсос; 2 — боковой отсос

Диаметр входного коллектора (в м)

$$d_1 = 2l_1 \operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{2} + d_2. \tag{48}$$

При $\alpha_1 = 60°$ $d_1 = 2 \cdot 0{,}15 \cdot \operatorname{tg}30° + 0{,}38 = 0{,}6$ м.

Диффузор. Для эжекторных воздухосмесителей рекомендуется принимать диффузоры с прямыми образующими, углами раскрытия $\alpha_2 = 6 \div 10°$ и параметром $n = \frac{F_3}{F_2} = 4 \div 10$ (т. е. отношение площади выходного сечения диффузора к площади камеры смешения). Диаметр выходного сечения диффузора (в м)

$$d_3 = d_2 \sqrt{n}. \tag{49}$$

При $d_2 = 0{,}38$ м и $n = 4$ $d_3 = 0{,}38 \cdot 2 = 0{,}73$ м.
Длина диффузора (в м)

$$l_3 = d_2 \frac{\sqrt{n} - 1}{2 \operatorname{tg} \alpha_2/2}. \tag{50}$$

При $\alpha_2 = 6°$ $l_3 = 0{,}32 \frac{2 - 1}{2\operatorname{tg}3°} = 3{,}6$ м. При коэффициенте эжекции $U = 4$ количество воздуха L_2 (в м³/с), которое удаляется эжекторным воздухосмесителем из верхней зоны цеха,

$$L_2 = L_0\,(U + 1). \tag{51}$$

Таким образом,

$L_2 = 0{,}72\,(4 + 1) = 3{,}6$ м³/с или 13 000 м³/ч.

При создании вытяжной вентиляции на фиксированных местах сварки преимущественно применяются боковые отсосы, так как

в расчет обычно принимается худший случай — сварка деталей максимальной высоты. Если по заданию производится сварка деталей средней высоты, то может быть применен графоаналитический метод расчета (рис. 76). При этом необходимо по имеющимся аналитическим или экспериментальным зависимостям построить графики изменения расхода воздуха для данного типа отсоса и точка пересечения *А* покажет, какой тип отсоса для деталей данной высоты будет наиболее экономичным.



Рис. 77. Эффективная работа бокового отсоса стола С100.40 сварщика



Рис. 78. Работа местного отсоса поворотного стола для сварки

Как видно из рис. 77, 78 при правильном выборе отсосов и обеспечении требуемых расходов воздуха вредные вещества практически не попадают в зону дыхания сварщика.

Есть еще один путь экономии энергозатрат, на который указывает ряд исследователей — это использование низкопотенциальных тепловых отходов производства.

Бескалориферные приточно-вытяжные системы, в которых используются различные регенеративные устройства, позволяют значительно сократить расход дорогостоящих теплоносителей для нужд вентиляции и отопления цехов. В этих системах хорошо закрекомендовали себя эжекторные воздухосмесители.

Необходимо широко применять бескалориферные приточно-вытяжные системы в сварочном производстве, где имеются помещения с избыточными тепловыделениями, например, термические цехи для отжига готовых сварных узлов. Учитывая большие размеры сварных конструкций, в этих цехах применяются крупные, часто уникальные печи с выдвижным подом длиной до 25 м, в которых используется для нагрева природный газ с большой теплотворной способностью (~ 35 тыс. кДж). Расход топлива в таких крупных печах достигает 1500 м³/ч.

Рациональное использование тепла достигается с помощью рециркуляции дымовых газов для подогрева подаваемого в печи воздуха. Однако эффективность таких рекуператоров не более 30—50%.

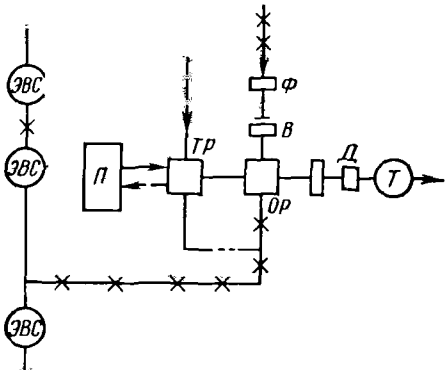


Рис. 79. Схема использования тепла отходящих газов термических печей для технологических и отопительно-вентиляционных целей.

Условные обозначения: *П* — печь; *ТР* — технологический рекуператор; *ОР* — отопительно-вентиляционный рекуператор; *Д* — дымосос; *Т* — дымовая труба; *Ф* — фильтр; *В* — вентилятор; *ЭВС* — эжекторные воздухосмесители; ——— трубопровод отходящих газов; — — — — подача компонентов горения; —х—х— подача нагретого воздуха для отопления и вентиляции; —..—..— подача предварительно подогретого воздуха

Полное использование тепла отходящих газов возможно при применении дополнительных рекуперационных устройств (кроме технологических) для нагрева воды или воздуха систем отопления и вентиляции. На рис. 79 представлена схема размещения оборудования для одновременного использования тепла отходящих газов термической печи как для технологических целей, так и для нужд отопления и вентиляции, предложенная П. С. Матвеенко.

За печью по пути движения отходящих газов последовательно установлены два рекуператора: технологический *ТР* — для подогрева компонентов горения и отопительно-вентиляционный *ОР* — для подогрева воздуха. В холодное время года этот воздух используется для отопления и вентиляции производственных помещений, а в жаркое время — для дополнительного подогрева воздуха, подаваемого в технологический рекуператор.

До требуемой по расчету температуры нагревается не весь объем приточного воздуха, необходимого для отопления и вентиляции данного цеха, а только часть его. Эта часть воздуха нагревается до более высокой, чем требуется, температуры, затем транспортируется к эжекторным воздухосмесителям, где смешивается с эжектируемым воздухом и выпускается в обслуживаемые помещения. В случае необходимости воздух может быть увлажнен в воздухосмесите-

лях и его параметры доведены до величин, требуемых санитарными нормами. За счет полной утилизации тепла отходящих газов термических печей возможно без увеличения энергозатрат применять более эффективные системы вентиляции сварочных цехов. Для широкого внедрения таких систем в практику сварочных производств требуется разработка методов их расчета и конструирования, определение экономичности и областей применения.

Дальнейшее совершенствование систем вентиляции и отопления (а также кондиционирования) сварочных производств должно пойти по пути создания автоматизированных систем, где поддержание необходимых метеорологических условий в цехах и содержание вредных веществ на уровне, не превышающем ПДК по всему объему помещения, производится автоматически.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Предельно допустимые концентрации наиболее часто встречающихся вредных газов и аэрозолей в воздухе сварочных цехов, утвержденные Минздравом СССР

Наименование веществ (вредных примесей)	Величина ПДК, мг/м³
Газы	
Озон	0,1
Окислы азота (в пересчете на NO_2)	5,0
Окись углерода	20,0
Фтористый водород	0,5
Соли фтористоводородной кислоты (в пересчете на HF)	1,0
Аэрозоли металлов и их соединения	
Алюминий, окись алюминия, сплавы алюминия	2,0
Бериллий и его соединения	0,001
Пыль трехокиси или пятиокиси ванадия и его соединений	0,5
Вольфрам	6,0
Окись железа с примесью окислов марганца (до 3%)	6,0
Окись железа с примесью фтористых или марганцевых соединений (3—6%)	4,0
Марганец (в пересчете на MnO_2) в виде аэрозоля конденсации	0,05
Марганец (в пересчете на MnO_2) в виде аэрозоля дезинтеграции	0,3
Молибден, растворимые соединения в виде аэрозоля конденсации	2,0
Никель, окись никеля	0,5
Свинец и его неорганические соединения	0,01
Окислы титана	10,0
Торий	0,05
Хромовый ангидрид, хроматы, бихроматы (в пересчете на CrO_3)	0,01
Окись хрома Cr_2O_3	1,0
Окись цинка	6,0

Валовые выделения вредных веществ и количество воздуха, необходимого для растворения их до ПДК при полуавтоматической сварке в среде защитных газов [6]

Вид сварки	Применяемые сварочные материалы	Валовые выделения определяющих воздухообмен вредных веществ, г, на 1 кг расходуемого сварочного материала		Расчетный воздухообмен, м³, на 1 кг расходуемого сварочного материала
		Наименование	Количество	
Сварка стали в CO_2	Электродная проволока Св-08Г2С	Железа окись с примесью фтористых или марганцевых соединений (3—6%)	7,7—11,7	1900—2900
	Св-10Г2Н2СМТ	Железа окись с примесью до 3% окислов марганца	12,0	2000
	Порошковая проволока ПП-АН4	Фтористый водород	1,95	3900*
	ПП-АН8	Марганец	2,18	7300*
	Хромоннкелевые электродные проволоки	Хромовый ангидрид	0,5—1,0	50 000—100 000*
Сварка аргонодуговая:				
алюминия и его сплавов	Электродная проволока Д-20, АМЦ, АМГ-6Т и др.	Алюминия окись	7,6—28,0	3800—14 000*
титановых сплавов плавящимся электродом	Электродная проволока	Титан и его двуокись	4,75	500
меди в защитной смеси аргона и гелия	Электродная проволока МНЖ-КГ-5-1-02-0,2	Медь	11,0	11 000*

* Требуется дополнительное применение респираторов или подача чистого воздуха под маску.

Валовые выделения вредных веществ и колнчество воздуха, необходимого для растворения их до ПДК при автоматической и полуавтоматической сварке (наплавке) под слоем флюса [6]

Вид сварки	Применяемые сварочные материалы	Валовые выделения определяющих воздухообмен вредных веществ, г, на 1 кг расходуемого сварочного материала		Расчетный воздухообмен, м³, на 1 кг расходуемого сварочного материала
		Наименование	Количество	
Сварка стали с флюсами: плавленными	Электродная проволока: ФЦ-2А; ФЦ-6; ФЦ-7; ФЦ-12; АН-26; АН-64; 48-0Ф-6М; ОЦС-45	Фтористый водород	0,017—0,2	40—400
	АН-30; АН-60; АН-348А; 48-0Ф-11	Марганец	0,012—0,07	240—1500
керамическими	К-8; ЖС-450; КС-12ГА2	Окись углерода	17,8—22,4	900—1100
	К-11	Марганец	0,089	1800
	АНК-18; К-1	Фтористый водород	0,042—0,15	80—300
Сварка алюминия и его сплавов	Электродная проволока и флюс: АН-А1	Алюминия окись	31,2	15 600*
	ЖА-64	Фтористый водород	0,076	150

* Требуется дополнительное применение респиратора или подача чистого воздуха под маску.

Количество воздуха, необходимого для растворения вредных веществ до ПДК при тепловой резке, газосварке и плазменной обработке [6]

Виды работ	Вредные вещества, определяющие воздухообмен			Количество воздуха, м³
	Наименование	*Измеритель*	Количество	
Резка углеродистых и низколегированных сталей	Железа окись с примесью окислов марганца (до 3%)	Г на 1 м длины реза, толщиной 1 мм	0,45	450
Резка высокомарганцевистых сталей	Марганец	То же	0,12	2400
Резка титановых сплавов	Титан и его двуокись	»	0,15	150
Газовая сварка сталей (ацетилен + + кислород)	Азота окись	Г на 1 кг ацетилена	22	4400
Газовая сварка сталей с пропан-бутановой смесью	То же	Г на 1 кг смеси	15	3000
Электродуговая резка алюминиевых сплавов	Алюминия окись	Г на 1 м длины реза, толщиной 1 мм	0,2	100
Плазменное напыление алюминия	То же	Г на 1 кг расходуемого порошка	77,5	38 750

Номограмма для определения удельных расходов воздуха для нижних отсосов в виде прямоугольных перфорированных решеток

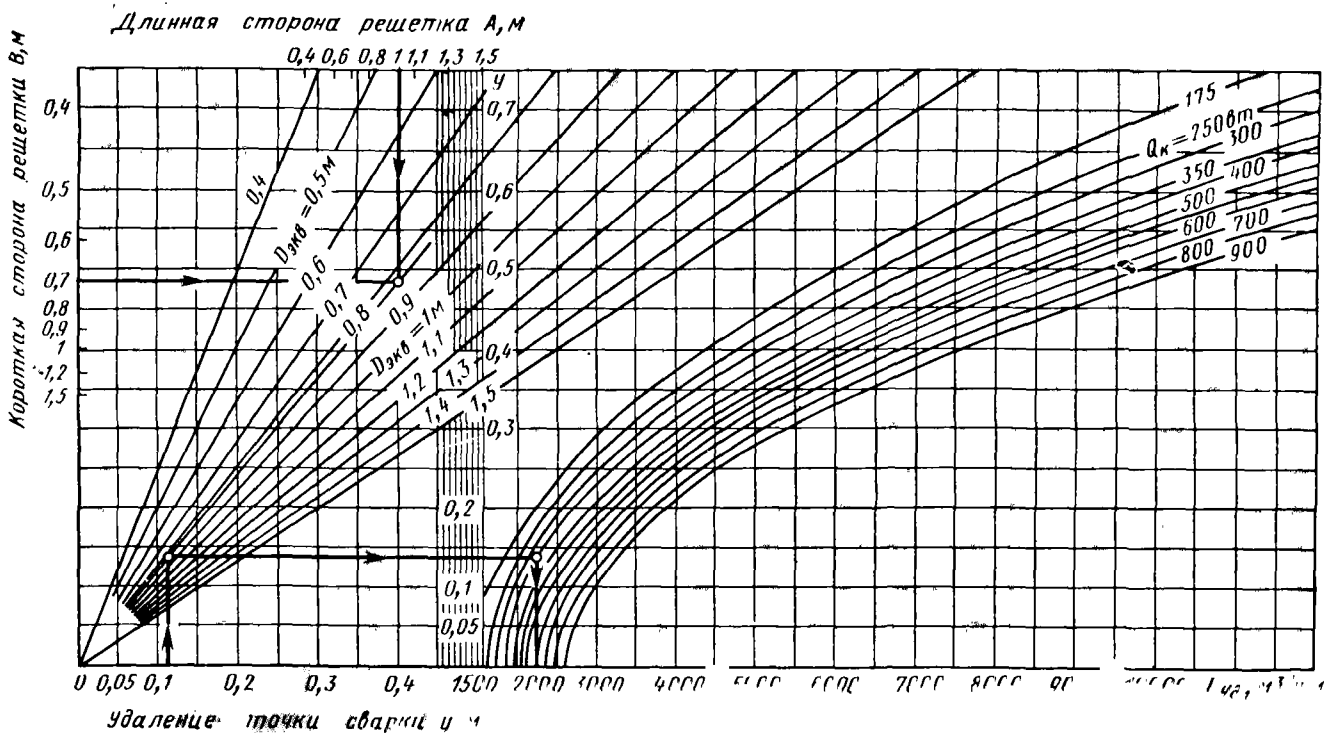
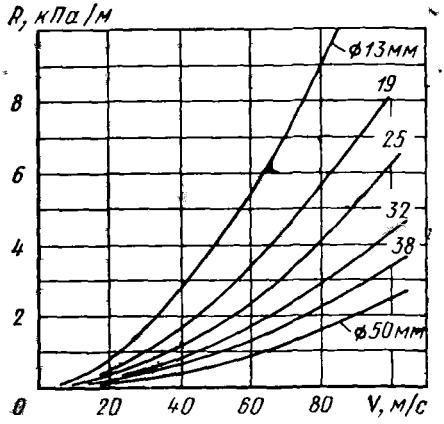
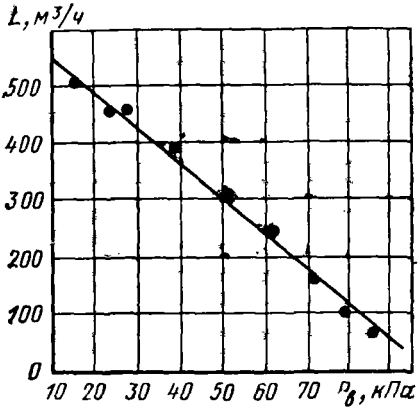


График для определения удельного гидравлического сопротивления гладких резинотканевых и пластмассовых шлангов



Характеристика водокольцевого вакуум-насоса ВВН-12



(Вакуум во всасывающем патрубке)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Брауде М. З.** Встроенные малогабаритные воздухоприемники для удаления пыли и газов при дуговой сварке. — Автоматическая сварка, 1965, № 6, с. 65—68.

2. **Бронштейн Р. М.** Рациональное проектирование вентиляции в сварочных цехах. — Сварочное производство, 1976, №7, с. 20—21

3. **Булат А. В., Игнатенко А. И., Явдошин И. Р.** Пути улучшения гигиенических свойств электродов с рутиловым типом покрытий. Тезисы докладов на Всесоюзной конференции по сварочным материалам. Киев: ИЭС им. Патона, 1976, 50 с.

4. **Векслер Г. С.** Сравнительная оценка местных вытяжных воздухоприемников, применяющихся при электросварке. Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС, № 2. М.: Профиздат, 1964, с. 7—8.

5. **Вентиляция** и отопление цехов машиностроительных заводов М. И. Гримитлин, О. Н. Тимофеева, Е. М. Эльтерман и др. М.: Машиностроение, 1978, 272 с.

6. **Внутренние** санитарно-технические устройства. Справочник проектировщика. Т. II. Вентиляция и кондиционирование воздуха./ Под ред. И. Г. Староверова. М.: Стройиздат, 1977. с. 321—370.

7. **Воронцова Е. И., Киреев В. И.** Гигиеническая оценка условий труда при контактной сварке.— Сварочное производство, 1975, № 4, с. 53—54.

8. **Высокоэффективная** очистка воздуха/Под ред. П. Уайта и С. Смита: М.: Атомиздат, 1976, 274 с.

9. **Ильницкая А. В.** Гигиена труда при плазменной обработке металлов. Тезисы докладов на Всесоюзной конференции «Культура труда, техника безопасности при производстве сварочных работ». М.: МДНТП, 1973, 16 с.

10. **Козлов В. А., Митрофанов В. М., Саенко Е. А.** Повышение эффективности вентиляции в сборочно-сварочных цехах.— Судостроение, 1975, № 3, с. 48—50.

11. **Красилов Г. И.** Местные отсосы в цехах и мастерских электросварки. — В кн.: Промышленная вентиляция и ее эксплуатация. М.: 1965, с. 37—39.

12. **Кузьменко В. К., Козлов В. А., Спешко Е. А.** Улучшение воздушной среды и эффективность вентиляции сборочно-сварочного цеха. — Судостроение, 1974, № 5, с. 18—20.

13. **Лифшиц Г. Д.** Исследование вытяжных факелов местных отсосов методом «особенностей». Известия ВУЗов,— Строительство и архитектура, № 4, 1977, с. 104—108.

14. **Лифшиц Г. Д.** К вопросу исследования закономерностей всасывающих факелов. Известия ВУЗов.— Строительство и архитектура, № 12, 1975, с. 135—141.

15. **Марченко А. Е.** Электроды для ручной дуговой сварки низколегированных конструкционных сталей. Киев: Наукова думка, 1976. 80 с.

16. **Местные** отсосы при ручной электросварке. Рабочие чертежи. Типовые детали, серия 4. 904—37, М.: ЦИТП, 1967. 116 с.

17. **Мигай К. В.** Гигиена и безопасность труда при электросварочных работах в судостроении. Л.: Судостроение, 1975. 127 с.

18. **Оноприенко Е. Н.** Исследование зависимости токсических свойств аэрозолей, образующихся при сварке порошковыми проволоками, от их химического состава.— В кн.: Сварочные материалы. Тезисы докладов на Всесоюзной конференции. Киев: ИЭС им. Патона, 1976, с. 51—52.

19. **Охрана** труда при сварке в машиностроении /М.З. Брауде, Е. И. Воронцова, С. Я. Ландо. М.: Машиностроение, 1978, 142 с.

20. **Прох Л. Ц., Шпаков Б. М., Яворская Н. М.** Справочник по сварочному оборудованию. Киев: Техника, 1979, с. 69—70.

21. **Рогинский М. Л.** Проблемы улучшения санитарно-гигиенических условий труда в сварочном производстве. М. НИИМАШ, 1975. 44 с.

22. **Санитарные** правила при сварке, наплавке и резке металлов (№ 1009—73). М.: Минздрав СССР, 1973, 27 с.

23. **СН 245—71** Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий. М.: 1972 96 с.
24. **СНиП II-33—75.** Строительные нормы и правила, М.: 1976, 109 с.
25. **Степанов А. Г., Головатюк А. П.** Охрана труда сварщика. Киев: Знание, 1978, 18 с.
26. **Талиев В. Н.** Аэродинамика вентиляции. М.: Стройиздат. 1979. 295 с.
27. **Тимофеева О. Н.** Местная вытяжная вентиляция при электросварке и газовой резке, рабочие чертежи. Л.: ВНИИОТ, 1971, 118 с.
28. **Тимофеева О. Н.** О сосредоточенной подаче воздуха в сварочно-сборочных цехах. Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС, № 1, М.: Профиздат, 1961, с. 4—7.
29. **Федоренко Г. А., Рябинин А. Д., Широнин В. М.** Эффективность газовой защиты при сварке горелками со встроенными устройствами для удаления токсичных веществ.— Сварочное производство, 1978, № 9, с. 52—55.
30. **Федько В. Т., Попков А. М.** Влияние защитных покрытий на санитарно-гигиенические условия труда при сварке в углекислом газе.— Сварочное производство, 1974, № 6, с. 56—57.
31. **Шведов Е. А.** Система вентиляции рабочего места плазменной резки.— Сварочное производство, № 7, 1979, с. 34.
32. **Шепелев И. А.** Воздушные потоки вблизи всасывающих отверстий.— В кн.: Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. Вып. 24, 1967, с. 90—109.
33. **Щедов П. П.** Местный вентиляционный панельно-щелевой отсос для электросварочных работ.— Автоматическая сварка, 1964, № 4, с. 59
34. **Эльтерман В. М., Брауде М. З.** К вопросу моделирования движения частиц в конвективном потоке воздуха. — Водоснабжение и санитарная техника, 1965, № 1, с. 9—12.
35. **Эльтерман В. М.** Закономерности тепловых струй.— В кн.: сборник научных работ институтов охраны труда ВЦСПС, № 1. М.: Профиздат, 1960, с. 18—20.
36. **Эпштейн А. М.** О форме оси турбулентной струи в неограниченном горизонтальном поперечном потоке.— Инженерно-физический журнал, т.IX, № 4, 1965, с. 37—41.
37. **Delvental B., König R.** Fortschritte bei der Beseitigung von Schweißrauch — Schweisstechnik, N 6, 1977, p. 91—94.
38. **Der Neue** Nederman Schweissrauchfilter. — Schweisstechnik, N 6, 1977, p. 102.
39. **Welding** Fume its cause evalution and control.— The Welder, 1978, p. 5 4—7. 40, 155, 199, England.
40. **Jefferson T. B.** Ventilation for welding.— Welding Engineer, 1970, N 10. p. 11.
41. **Springer D. и.а.** Arbeitshygienische Sanierung von Schweißerarbeitsplätzen.— Schweisstechnik N 5, 1973.
42. **Kollman K. G.** Solving the Problem of GMAW Fume Exraction.— Welding Journal, T. 8, 1973, p. 237.
43. **Müller K.** Schutzgüte in der Schweisstechnick.— Sweisstechnick, N 7, 1972.
44. **Projektierung** von Schweißwerkstätten. — Schweißtechnik, N 11, 1971, s. 481.
45. **Silber H. G., Staelber J.** MJG-Schweissen ist nicht gesundheitsschädlic — Shcweissen und Schneiden, 1920, p. 8.
46. **Walterscheid H. D.** Elektrostatische Luftreniger zur Schweissgasabsaugung.— Betrieb. Manag. Serv.», 1977, 18, N 5.
47. «**Welding** fume extractor, patent N 3886344.— Official Gazette, May, 1975, p. 38.
48. **Faremomenter ved Sveisarbeid.**— Dan. tekn. Tidsskr, 1973, 97, N 11—12.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

I. Санитарно-гигиеническая оценка условий труда при различных методах сварки и тепловой резки металлов 5

1. Вредные вещества, сопровождающие процесс сварки . . . 5
2. Предельно допустимые концентрации вредных веществ . . . 7
3. Гигиенические особенности различных методов сварки и тепловой резки 9
4. Гигиеническая оценка некоторых сварочных материалов . . 19

II. Состояние и анализ вентиляции действующих сварочных производств 24

1. Состояние воздушной среды 24
2. Анализ работы действующих вентиляционных систем . . . 25
3. Применяемые местные отсосы 29

III. Расчет и конструирование местных отсосов 38

1. Сварочный факел и его характеристики 38
2. Закономерности спектров всасывания 43
3. Основы расчета местных отсосов 50
4. Местные отсосы для сварочных полуавтоматов и автоматов . 62
5. Столы для сварки со встроенными местными отсосами . . 76
6. Местные отсосы при сварке крупногабаритных изделий . . 82
7. Местная вентиляция при тепловой резке металла 92

IV. Некоторые вопросы расчета и проектирования вентиляции сварочных производств 98

1. Принципы общеобменной вентиляции сварочных цехов . . 98
2. Определение потребного воздухообмена 100
3. Выбор схем общеобменной вентиляции сварочных цехов . . 102
4. Эффективность вентиляционных систем и пути их совершенствования 106

Приложения 113

Список литературы 119