

ФГАОУ ВО "КРЫМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им В.И. Вернадского"

на правах рукописи



Сиваченко Юрий Анатольевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ
СИСТЕМ ПРИ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ**

Специальность 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование
воздуха, газоснабжение и освещение

Диссертация

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор

Зайцев Олег Николаевич

Симферополь 2024

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1.	
АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ЛОКАЛЬНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ПРИ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ.	14
1.1. Анализ существующих технических решений локальных вентиляционных систем при плазменной обработке металлов.	27
1.2. Методы расчета и подбора вытяжных систем при плазменной обработке металлов	43
1.3 Влияние технологических требований.....	45
1.4. Выводы по главе 1.....	48
ГЛАВА 2.	
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КООКСИАЛЬНОГО ВЫТЯЖНОГО УСТРОЙСТВА.....	49
2.1. Выбор вредных производственных факторов при плазменной обработке металлов.....	54
2.2. Численное моделирование аэродинамических процессов при удалении вредностей от мест плазменной резки металлов.....	57
2.3. Постановка задач и условия ограничения модели.....	60
2.4. Результаты исследования и их анализ.....	61
2.5.Влияние геометрических параметров коаксиального отсоса на характеристики потоков (влияние размеров отверстия для истечения ограничивающего потока).....	62
2.6. Выводы по главе 2.....	66
ГЛАВА 3.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КООКСИАЛЬНОГО ОТСОСА.....	67
3.1. Постановка задач и условия ограничения модели исследования влияния угла раскрытия диффузора.....	67

3.2. Результаты исследования влияния геометрических параметров коаксиального отсоса на динамические характеристики потоков (влияние угла раскрытия диффузора).....	68
3.3. Влияние соотношения расходов на формирование потоков.....	70
3.4. Определение диапазона регулирования при равном соотношении расходов.....	76
3.5. Сравнение полученных результатов с существующими решениями по локальной вытяжной вентиляции.....	85
3.6. Выводы по главе 3.....	92
ГЛАВА 4.	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОАКСИАЛЬНОГО ВЫТЯЖНОГО УСТРОЙСТВА.....	93
4.1. Разработка экспериментального стенда и описание условий его работы.....	94
4.2. Методика проведения эксперимента.....	98
4.3. Результаты экспериментальных исследований	99
4.4. Проверка адекватности полученных экспериментальных данных.....	102
4.5. Верификация по итогам экспериментальных и теоретических исследований.....	110
4.6. Выводы по главе 4.....	115
ГЛАВА 5.	
ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА ПОДБОРА КОАКСИАЛЬНОГО ВЫТЯЖНОГО УСТРОЙСТВА.....	116
5.1. Методика проведения и результаты промышленных испытаний предложенного оборудования.....	116
5.2. Инженерная методика подбора местного отсоса.....	122
5.3. Исследование запыленности воздушной среды.....	125
5.4. Технико-экономическое обоснование.....	131

5.5. Определение капитальных, эксплуатационных затрат и срока окупаемости при внедрении вентиляционной системы с коаксиальным вытяжным устройством по сравнению с секционной вытяжной установкой.....	135
5.6. Выводы по главе 5.....	138
6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	139
7. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ.....	142
8. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	147
9. ПРИЛОЖЕНИЕ А. Патент на полезную модель.....	160
10. ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Справка о внедрении материалов диссертационной работы в орган государственной власти.....	161
11. ПРИЛОЖЕНИЕ В. Справка о внедрении материалов диссертационной работы в государственное казенное учреждение.....	162
12. ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Справка о внедрении материалов диссертационной работы в учебный процесс.....	163

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования.

Последнее десятилетие отмечается ростом производства на отечественных предприятиях, использующих различные технологии обработки металлов. Это обусловлено развитием таких отраслей как ракетостроение, судостроение, космическая отрасль, отрасли военно-промышленного комплекса, автомобилестроение, а также спросом в таких секторах как ЖКХ. Для целей производств при изготовлении различных элементов, деталей, изделий на предприятиях различных отраслей широкое распространение получила плазменная резка металла.

В Российской Федерации за 2010-2018 гг. было увеличено производство станкоинструментальной продукции с 8959 до 15498 штук при этом около 1,8-2 тыс. - станки плазменной резки. При этом для локализации и удаления вредных выбросов от плазменной резки применяется широкая номенклатура различных вытяжных устройств, которые отличаются низкой эффективностью и значительными объемами удаляемого воздуха. Средний объем удаляемого воздуха для таких систем варьируется в диапазоне 5000-7000 м³/ч.

Плазменная резка является одним из эффективных, экономичных и востребованных способов обработки металлов, применяемых в промышленности, целесообразна в широком диапазоне номенклатуры обрабатываемых металлов - толщин и состава, существенно снижает количество разного рода отходов и при этом ускоряет, и упрощает саму процедуру изготовления изделий из различных типов металлов.

Вместе с тем важным усложняющим фактором является подход "вентиляция для плазменной резки", при этом подходе происходит интеграция вспомогательных систем в основное оборудование, что не всегда позволяет качественно решить поставленные задачи по улучшению условий труда.

Таким образом, существует значительный потенциал для совершенствования устройств локальной вытяжной вентиляции

предназначенных для снижения выбросов вредных веществ в окружающую среду и поддержание требуемых параметров микроклимата путем совершенствования средств локализации, удаления вредностей от нестационарных мест плазменной резки металлов, улучшения качества воздушной среды на рабочих местах и снижения энергетических затрат.

Степень разработанности темы исследования.

Изучению течений в спектрах действия местных отсосов, а также их совершенствованию посвящены труды Аверковой О.А., Батурина В.В., Гримитлина А.М., Дацюк Т.А., Зайцева О.Н., Зиганшина А.М., Логачева, К.И., Посохина В.Н., Талиева В.Н., Уварова В.А., Уляшевой В.М. и многих других, однако в настоящее время отсутствуют исследования, посвященные локализации и удалению вредностей от высокотемпературных гетерогенных струй, образующихся под обрабатываемой поверхностью.

Объектом исследования являются места плазменной резки металлов.

Предметом исследования являются газодинамические и термодинамические процессы удаления вредностей при плазменной резке металлов.

Гипотеза исследования заключается в предположении об увеличении спектра всасывания путем большего раскрытия угла диффузора.

Целью исследования является совершенствование средств локализации и удаления вредностей от нестационарных мест плазменной резки металлов путем позиционирования коаксиального отсоса под обрабатываемой поверхностью.

Задачи исследования:

- на основании обзора литературных источников и систематизации, существующих в сварочном производстве способов и средств локализации, удаления и улавливания выделяющихся вредностей выявить пути повышения эффективности их работы на постах плазменной резки;
- теоретически исследовать взаимодействие тепловой гетерогенной струи, возникающей в месте резки, с потоком газа и отсосом, и на основании

полученных результатов разработать высокоэффективный способ локализации удаления вредностей;

- разработать коаксиальное вытяжное устройство с торцевой раздачей потока для локальных вентиляционных систем, позволяющее локализовать выделяющиеся вредности в местах прохода плазменной дуги через металл;

- разработать экспериментальный стенд для экспериментального исследования конструкции отсоса, реализующую предложенный способ удаления вредностей и сравнить полученные результаты с теоретическими данными.

– уточнить методику подбора коаксиального вытяжного устройства для локальных вытяжных систем;

– выполнить оценку экономической эффективности внедрения локального вытяжного устройства в сравнении с вытяжными устройствами на основе вытяжных столов, применяемых при плазменной резке металлов.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. На основании анализа литературных источников и систематизации существующих в сварочном производстве способов и средств локализации, удаления и улавливания выделяющихся вредностей выявлены пути повышения эффективности их работы на постах плазменной резки, что позволило предложить новый конструктивный подход к взаимодействию факела отсоса и приточной струи;

2. Выполненные экспериментальные и теоретические исследования всасывающих факелов коаксиального вытяжного устройства, ограниченного раздающим радиально направленным потоком позволили определить значения осевых скоростей при различных расходах воздуха с рациональным соотношением их расходов (β) для предложенной конструкции местного отсоса (ППМ РФ №207 611);

3. Определены геометрические параметры устойчивой работы местного отсоса предложенной конструкции в результате численного моделирования, что

позволило выявить рациональную компоновочную схему локального вытяжного устройства;

4. В результате численного моделирования динамических характеристик результирующего потока выявлено, что для значений соотношения потоков $\beta=0,8-1$ достигается отсутствие негативных факторов взаимодействия струй при формировании приточного потока воздуха в виде радиальной веерной струи. Также определено, что схемы, при которых значения соотношений потоков при $\beta>1$, приводит к несколько большей стабилизации потока, а угол раскрытия отсекающего радиального потока приближается к 90° ;

5. Выявлено, что для компоновочных решений установок для локальной вытяжной вентиляции значение β не целесообразно корректировать в сторону увеличения для устройств с одним побудителем на подающий и всасывающий поток. При этом, определен диапазон варьирования соотношений расходов воздуха на формирование ограничивающей струи, равный $0,8 \leq \beta \leq 1$;

6. Получено регрессионное уравнение, позволившее определить рациональное соотношение объемов приточного и удаляемого воздуха с учетом воздействия плазменной струи, при установленных скоростях удаляемого воздуха согласно нормативной документации в плоскости реза.

Теоретическая значимость диссертационного исследования заключается в моделировании процессов, происходящих в зоне взаимодействия тепловой гетерогенной струи, возникающей в месте резки, с потоком газа и приточного и вытяжного потоков отсоса, позволяющего на основании полученных результатов предложить высокоэффективный способ локализации удаления вредностей, реализованный в новой конструкции локального вытяжного устройства, отличающейся тем, что за счет рациональных компоновочных решений происходит увеличения осевой скорости при удалении вредностей при различных соотношениях расходов приточного и удаляемого воздуха. Также, в результате экспериментальных исследований получены новые зависимости

осевых скорости от удаления источника вредностей при соответствующих расходах воздуха.

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в следующем:

1. Получено экспериментальное подтверждение данных, полученных при моделировании воздействия всасывающего и радиально направленного ограничивающего потока;

2. Определены геометрические параметры устройства, при которых достигается увеличение зоны действия всасывающего потока;

3. Предложены конструктивные решения вытяжного устройства локальных систем вентиляции для удаления вредных выделений при плазменной обработке металлов позволяющее достичь требуемых параметров микроклимата воздуха рабочей зоны (патент №207611);

4. В ряде организаций Республики Крым результаты диссертационной работы приняты к внедрению (Приложение Б, Приложение В). Также результаты исследований использованы в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлению 08.03.01 и 08.04.01 - Строительство.

Методология и методы исследований.

Поставленные задачи решались математическими методами физического и численного моделирования. Физическое моделирование использовалось для получения зависимостей, которые формулируют методики расчета аэродинамических и эколого - энергетических параметров результирующего течения при взаимодействии потока плазмы со спектром всасывания и радиальной активированной струей.

Численное моделирование использовалось для получения пространственного представления линий тока, полей температуры, скорости и давления. Анализ экспериментальных данных производился при помощи методов математической статистики.

Достоверность полученных научных положений, выводов и рекомендаций основана на современных представлениях по аэродинамике и теплопередачи подтверждена тем, что полученные результаты не противоречат выводам известных положений. Аэродинамические исследования процесса удаления вредностей от мест плазменной резки металла выполнены в лаборатории по вентиляции академии с использованием образцов известных мировых фирм, по договорам о сотрудничестве с институтом АСиА.

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты численного моделирования аэродинамических, гидродинамических характеристик коаксиального вытяжного устройства, ограниченного раздающим радиально направленным потоком;

2. Предложенная конструкция коаксиального вытяжного устройства, состоящая из двух труб установленных соосно при этом трубопроводы расположены таким образом, что образуют межтрубное пространство при этом всасывающий поток организованный побудителем движется по внутренней трубе, а в межтрубном пространстве движется в противоточном направлении раздающий поток который по истечении из отверстия формирует ограничивающую зону, формируемую путем отражения от диффузора-ограничителя и далее радиально распространяется в пространство (ППМ № 207 611);

3. Регрессионная зависимость осевой скорости от расхода воздуха и удаленности от всасывающего отверстия коаксиального вытяжного устройства предложенной конструкции (ППМ № 207 611);

4. Уточненная методика инженерного подбора коаксиального вытяжного устройства предложенной конструкции;

5. Результаты расчетов экономической эффективности внедрения коаксиального вытяжного устройства предложенной конструкции.

Степень достоверности диссертационных исследований обоснована использованием фундаментальных положений законов аэрогидродинамики,

современных методов вычислительной гидроаэродинамики и математики; применением современных методов численного моделирования, расчетно-аналитического программного обеспечения; подтверждается удовлетворительным согласованием итогов теоретических исследований с результатами экспериментальных исследований и верификацией полученных теоретических и экспериментальных данных.

Апробация результатов. Основные положения и результаты диссертационного исследования докладывались на следующих научно-практических конференциях: I Международная научно-техническая конференция «Инженерные системы и энергоэффективность в строительстве, природообустройстве», сентябрь 2018 г., Крым; международная научно-практическая конференция «Методология безопасности среды жизнедеятельности», октябрь 2022, Симферополь, XII; международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Водоснабжение, водоотведение и системы защиты окружающей среды», Уфа, 12-13 апреля 2023 года.

Внедрение. Техническое решение по локальной вытяжной вентиляции при помощи коаксиального вытяжного устройства, уточненная инженерная методика подбора коаксиального вытяжного устройства и методический подход к определению экономической эффективности внедрения локальной вытяжной вентиляции при помощи коаксиального вытяжного устройства апробированы на предприятиях Республики Крым (материалы исследований и методики расчета переданы в Управление делами Государственного совета Республики Крым) и внедрены в практику проектирования систем локальной вытяжной вентиляции в автомобильном подразделении ГКУ РК "Вспомогательная служба Управления делами Государственного Совета Республики Крым». Также результаты исследований используются в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлению 08.03.01, 08.04.01 – Строительство.

Публикации. Основные научные результаты диссертации опубликованы в 9 научных работах, в том числе: 4 статьи в российских журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ; 3 статьи в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus; получен 1 патент РФ на полезную модель.

Личный вклад автора состоит в формулировании цели и постановке задач диссертационного исследования, выборе объектов и методов исследований, проведении литературного обзора, разработке теоретических положений работы, проведении численных и натуральных экспериментов, обработке экспериментальных данных, анализе и обобщении полученных результатов, подготовке и публикации материалов работы.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, с выводами по каждой из них, заключения, условных обозначений, библиографического списка и приложений. Общий объем работы 163 страницы, в том числе: 138 страниц – основной текст, содержащий 16 таблиц, 99 рисунков, 52 формулы; список сокращений и условных обозначений на 5 страницах; список литературы из 113 наименований на 12 страницах; 4 приложения на 4 страницах.

Область исследования соответствует требованиям паспорта специальности ВАК РФ: 2.1.3. – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение:

п 2. Технологические задачи теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха, разработка методов энергосбережения систем и элементов теплоснабжения, вентиляции, кондиционирования воздуха, газоснабжения и освещения, охраны воздушного бассейна, защиты от шума зданий и сооружений. Очистка и расчет рассеивания загрязняющих веществ от вентиляционных выбросов,

п 3. Разработка и совершенствование систем теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха, разработка методов

энергосбережения систем и элементов теплоснабжения, вентиляции, кондиционирования воздуха, газоснабжения и освещения, охраны воздушного бассейна, защиты от шума зданий и сооружений, аспирации и пневмотранспорта, включая использование альтернативных, вторичных и возобновляемых источников энергии; развитие методов моделирования многофазных потоков и динамических процессов в аэродисперсных системах,

п 4. Разработка математических моделей, методов, алгоритмов и компьютерных программ, использование численных методов, с проверкой их адекватности, для расчета, конструирования и проектирования систем теплоснабжения, вентиляции, кондиционирования воздуха, газоснабжения и освещения, охраны воздушного бассейна, защиты от шума зданий и сооружений, повышения их надежности и эффективности,

п 5. Разработка и развитие экспериментальных методов исследований, анализа и обработки экспериментальных данных, процессов в системах теплоснабжения, вентиляции, кондиционирования воздуха, газоснабжения и освещения, охраны воздушного бассейна, защиты от шума, зданий и сооружений.

ГЛАВА 1.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ЛОКАЛЬНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ПРИ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ

Последнее десятилетие отмечается ростом производства на отечественных предприятиях, использующих различные технологии обработки металлов. Это обусловлено развитием таких отраслей как ракетостроение, судостроение, космическая отрасль, отрасли военно-промышленного комплекса, автомобилестроение, а также спросом в таких секторах как ЖКХ. Для целей производств при изготовлении различных элементов, деталей, изделий на предприятиях различных отраслей широкое распространение получила плазменная резка металла.

Производство основных видов станкоинструментальной продукции в Российской Федерации за 2010-2018 гг. увеличилось с 8959 до 15 498 штук при этом около 1,8-2 тыс. – металлорежущие станки, в том числе и станки для плазменной резки, при этом суммарный объем поставок станков для резки металлов в денежном эквиваленте составил 97 млн. долларов и имеет значительный потенциал к росту [1]. В свою очередь около 60% станков производятся для внутреннего рынка [2].

Курс страны направленный на модернизацию и развитие производственных отраслей экономики, а также улучшение показателей качества жизни и труда стимулирует развитие инженерных решений, в том числе направленных на улучшение показателей условий труда в промышленных отраслях и сферах деятельности в которых задействован труд направленный на обработку металла, изготовление элементов металлоконструкций, деталей различных сооружений и машин и техники стимулируя тем самым увеличение производительности труда. Новым и перспективным этапом развития технологий автоматизации и роботизации, внедренных в сферу обработки металлов является технология числового программного управления, которая совокупно с технологией

плазменной резки металла вывела технологию на новый уровень. Благодаря качественному улучшению технологии и ее развитию доступность автоматизированной плазменной резки возросла как для небольших частных производств, так и для крупных промышленных предприятий. Политика государства, направленная на увеличение продолжительности и качества жизни, диктует необходимость создания новых подходов, особенно на участках производств с наличием вредных производственных факторов, к которым в том числе относится и плазменная резка металла. Ввиду того, что плазменная резка относится к сферам деятельности металлообработки сопряженным с вредным воздействием различных факторов на здоровье рабочих при развитии технологий, направленных на сохранение здоровья и максимальное их снижение, возможно, добиться качественного улучшения показателей производств в этой сфере [3].

Улучшением условий труда продиктована необходимость большей автоматизации - создания станков, которые работали бы по алгоритму, учитывающему максимальное количество производственных факторов с тенденцией к снижению затрат [4][5]. Среди таких факторов на производствах с использованием автоматизированной плазменной резки можно выделить пагубное влияние вредностей, выделяющихся при резке, воздействие на органы зрения и слуха. Помимо вредных выбросов, обусловленных химическим составом также имеются выбросы, обусловленные высокими температурами плазменной дуги, звуковым воздействием [6]. При этом широкого внедрения комплексных решений проблем, связанных с возникновением характерных вредных производственных факторов на подобном оборудовании на данный момент не представлено.

За прошедшее время с момента активного внедрения и использования станков плазменной резки, разработанные компоновочные решения не претерпели существенных изменений. Используются решения по удалению вредностей, образующихся при плазменной резке предложенные научным

и инженерным сообществом в 60-70 годы прошлого века. При этом, не смотря на совершенствование применяемых локальных вытяжных устройств на станках для плазменной резки металлов тенденции направленной на снижение единичной мощности оборудования, не отмечается, а направление снижения энергозатрат путем применения альтернативных технических решений широко не распространено. Обусловлено это в том числе и рядом факторов, таких как разнотипность применяемого оборудования, возникающих негативных производственных факторов, сложность эксплуатации и обслуживания оборудования при технологических процессах плазменной резки, сложность организации процессов удаления аэрозолей и пыли

Резка металла и изготовление различных изделий при помощи плазмы на станках с ЧПУ занял свою нишу в номенклатуре способов резки как перспективный и не исчерпавший себя [7]. Помимо технологических задач, ставших привычными постепенно внедряются технологии роботизации, позволяющие организовывать производство сложных по форме деталей. Развитие технологии в направлении роботизации также диктует необходимость поиска новых решений, позволяющих увеличить качество труда.

На производствах плазменной резке подвергаются различные типы металлов и сплавов, как черных, так и цветных, а для целых групп металлов применение плазменной резки отличается рядом преимуществ за счет чего технология применяется как для изготовления широкоформатных деталей корпусов в судостроении, различной номенклатуры элементов ракетной техники различного назначения, деталей в автомобилестроении. Области применения и экономическая эффективность плазменной резки определяются ее универсальностью в отношении разрезаемых металлов, диапазона обрабатываемых толщин, достигаемыми скоростями резки и другими ее особенностями. Технология плазменной резки достаточно доступна и проста в эксплуатации. Плазменная резка востребована в широком диапазоне толщин обрабатываемых металлов, отличается эффективностью, а также качеством

конечных изделий при соблюдении технологии. Плазменной резке подвергаются как черные, так и цветные металлы. Цветные металлы (алюминий, медь и др., а также их сплавы) плохо поддаются газопламенным способам резки, поэтому область применения плазмы для них ограничивается только наибольшей доступной плазменной резке толщиной [8].

Развитие технологического оборудования продолжается, повышается ряд обрабатываемых металлов различных толщин. Повышается качество реза. Широкий диапазон обрабатываемых металлов обуславливает необходимость подбора совокупности технологических параметров для выполнения операций в зависимости от характеристик обрабатываемого сырья, в том числе и параметров работы вентиляционного оборудования. К таким параметрам относятся химический состав металла или сплава, геометрические характеристики заготовки, а именно её толщина, содержание посторонних добавок, примесей, консервантов, применяемых для покрытия листового, металла препятствующего коррозии металла. Последний фактор на рядок с прочими также обуславливает состав вредных выбросов, образующихся при плазменной резке и как следствие- режим работы систем очистки воздуха.

Основным техническим устройством, применяемым в отраслях промышленности для раскроя металла, являются в подавляющем большинстве случаев плазменные станки с ЧПУ - порталные установки, машины различной конфигурации. Конфигурация и компоновка порталных установок различна и зависит от потребной производительности, номенклатуры продукции, предполагаемой к производству, технологий, которые применяются при производстве изделий, а также зависит от типа обрабатываемого сырья.

На данное время на производствах устанавливаются различные типы станков: стационарные, с автоматизированной подачей заготовок, модульные, у которых раскройные столы набираются секциями, с целью увеличения длины производственной линии для оптимизации производственного процесса, комбинированные, которые включают в себя модуль для раскроя труб и иного

проката. На крупных производствах устанавливаются тяжелые станки, которые оснащаются несколькими плазмотронами, а в портал интегрировано место оператора станка, который контролирует процесс и управляет станком. Вместе с тем на ряде предприятий стран СНГ до сих пор эксплуатируются станки, для плазменной резки, выпускаемые еще во времена СССР и работающие по фотокопирам, которые, безусловно, требуют либо замены, либо глубокой модернизации ввиду моральной изношенности.

Плазменная резка является одним из эффективных, экономичных и востребованных способов обработки металлов применяемой в промышленности, целесообразна в широком диапазоне номенклатуры обрабатываемых металлов - толщин и состава, существенно снижает количество разного рода отходов и при этом ускоряет, и упрощает саму процедуру изготовления изделий из различных типов металлов.

Вместе с тем важным усложняющим фактором является подход "вентиляция для плазменной резки", при этом подходе происходит интеграция вспомогательных систем в основное оборудование, что не всегда позволяет качественно решить поставленные задачи по улучшению условий труда.

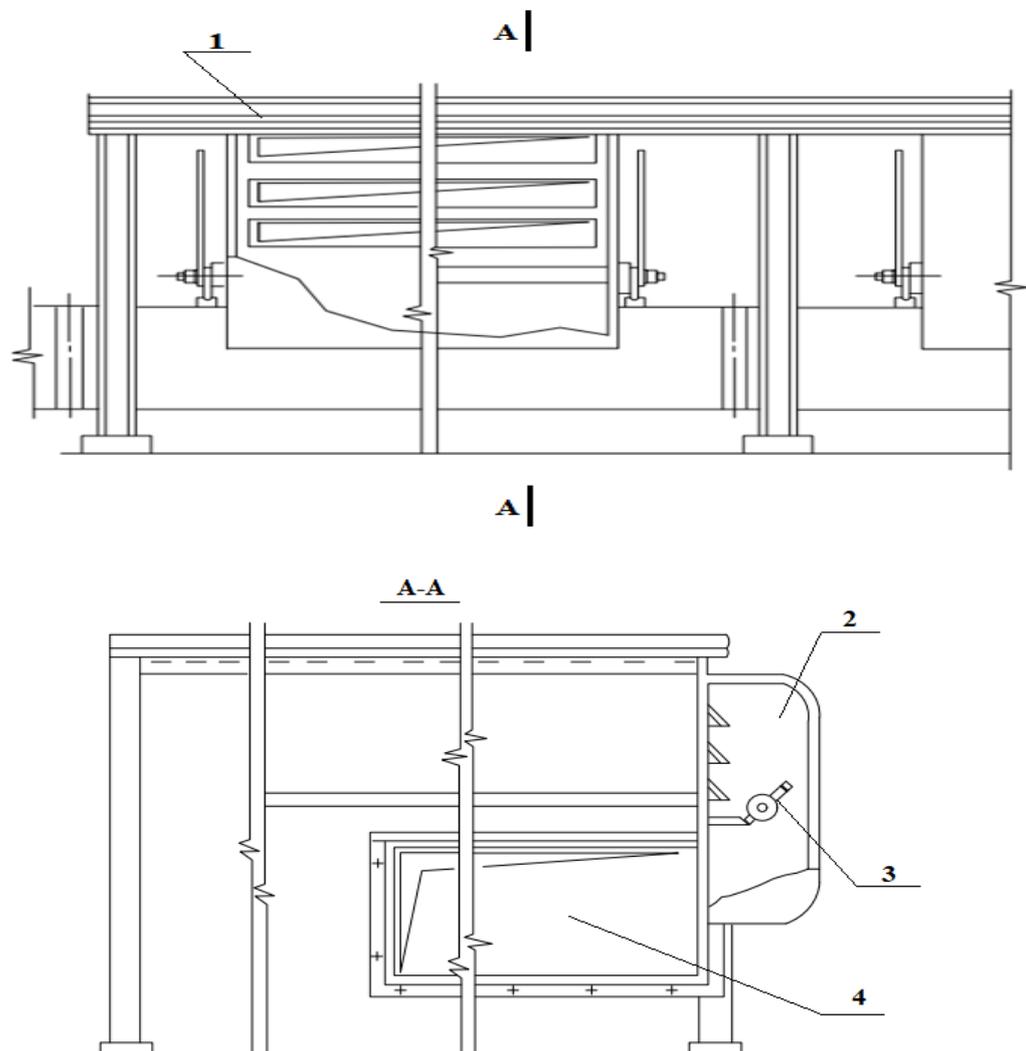
Таким образом, существует значительный потенциал для модернизации применяемых плазменных станков на различных производствах для улучшения качества условий труда и снижения энергетических затрат.

Несмотря на развитие оборудования для плазменной резки, а также улучшение систем локальной вытяжной вентиляции, остается актуальной проблема повышения эффективности локальных отсосов при плазменной резке металлов для снижения общей загрязненности помещений производственных цехов, улучшения условий труда путем организации, нормируемых санитарно-гигиенических условий труда, в том числе путем доведения загрязненности рабочей зоны до требований по предельно допустимой концентрации вредных веществ.

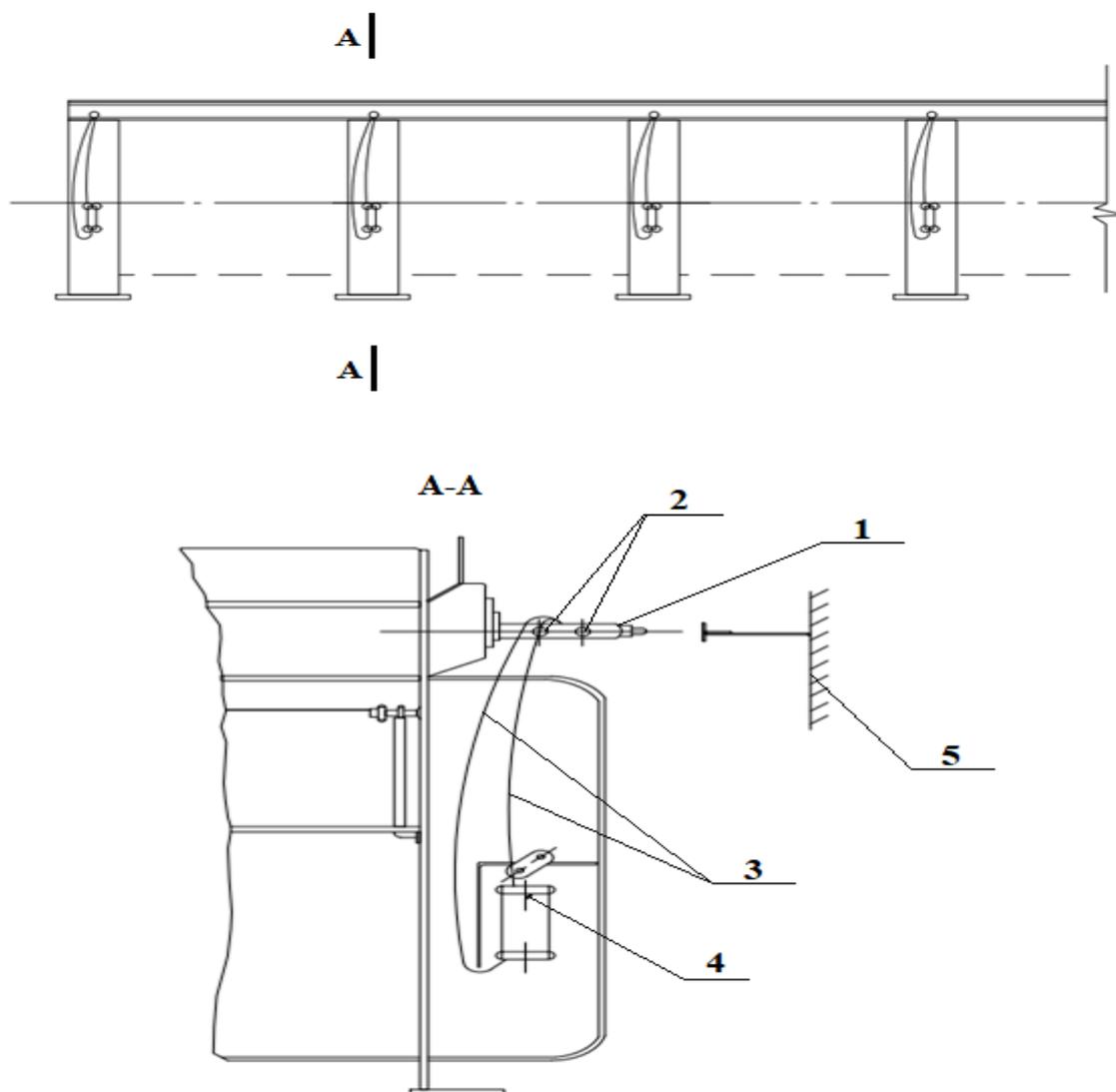
В целях борьбы с вредными веществами, которые образуются при плазменной резке разработано большое количество технологических решений местных вытяжных систем при плазменной резке металлов. Эти конструкции можно идентифицировать и проводить анализ согласно общепринятых классификаций, применяемых в современной научно-технической литературе, однако системы местных отсосов для плазменной резки в частности имеют свои специфические особенности, обусловленные оборудованием, применяемым непосредственно при резке. При этом классификация оборудования плазменной резки в целях локальной вытяжной вентиляции также отсутствует. Например, для средних и тяжелых станков плазменной резки не учитываются случаи, при которых используются два плазмотрона и более, осуществляется роботизированная резка, либо оборудование выполняет несколько операций по обработке металлов. Также не учитываются различные варианты секционирования вытяжных столов, а также способы организации движения вредных веществ, которые образовались при плазменной резке. В этом случае целесообразно использовать классификацию систем локальной вытяжной вентиляции по группам в зависимости от применения на тех или иных видах станков.

Развитие вычислительной техники, а также развитие и внедрение принципов автоматизации производственных процессов при плазменной резке металлов послужили толчком к развитию локальных различных вытяжных систем. При этом подбор тех или иных вытяжных систем целесообразно производить в зависимости от типа раскроечной рамы. С появлением технологии плазменной резки и дальнейшим ее совершенствованием, в том числе в направлении улучшения условий труда рабочих и внедрением автоматизированных производственных линий распространение получили конструкции, в которых применено секционирование вытяжной зоны. Описание конструкций вытяжных отсосов от плазменного оборудования изложено в [9-11]. Представленные конструкции отличаются разнообразием примененных

компоновочных и технических решений, примененных в тех или иных установках для плазменной резки металлов. Распространение получили как секционные вытяжные устройства, так и локальные вытяжные устройства с активированными и неактивированными местными отсосами, а также местные отсосы с передувками, которые, однако характеризуются требованиями, предъявляемыми непосредственно к раскраиваемым заготовкам. Также внедрялись вытяжные устройства с укрытиями. Ряд конструктивных решений вытяжных устройств, применяемых для плазменной резки приведен далее.



1– стационарный раскроечный стол, 2– секционный отсос, 3– клапан, 4– сборный воздуховод
 Рисунок 1 - Принципиальная схема секционного вытяжного стола с ручным регулированием привода управления заслонками



1– воздухораспределитель, 2– ниппеля, 3– шланг, 4– пневмоцилиндр, 5– станина машины

Рисунок 2 - Принципиальная схема секционного вытяжного стола с автоматическим регулированием привода управления заслонками

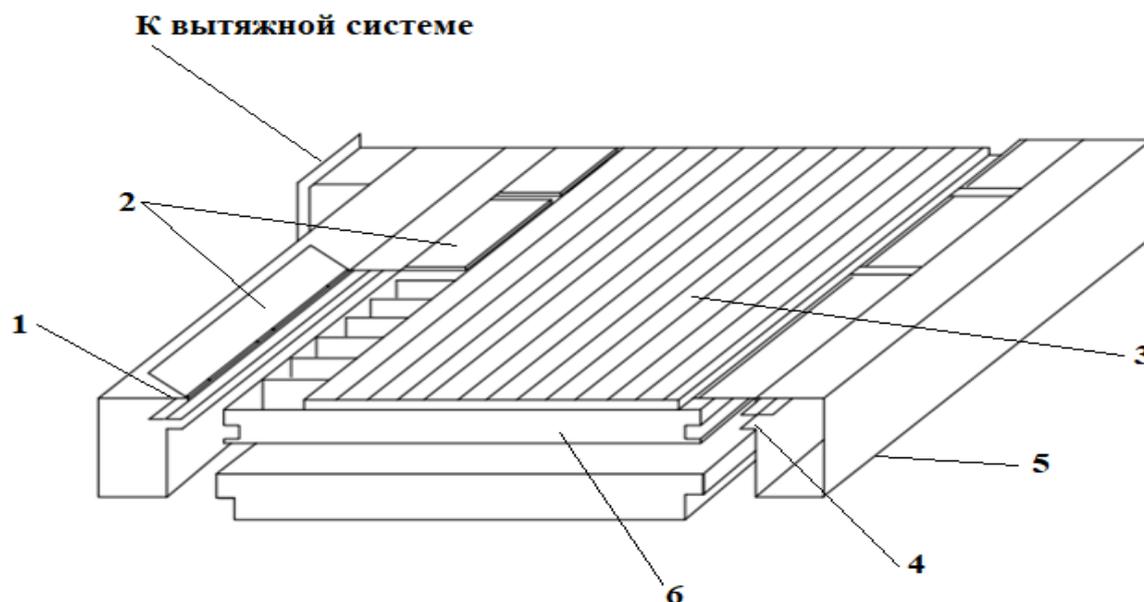
Вытяжное устройство представляет собой устройство, сегментированный местный отсос. В пространстве под раскроечным столом прокладываются сборные воздуховоды, к которым крепится секционный отсос с ручным приводом. Дальнейшим развитием конструкции стало применение автоматических заслонок на пневматическом приводе, которые широко применяются на автоматизированных линиях. Рекомендуемый расход воздуха для таких вытяжных устройств варьируется в зависимости от толщины

обрабатываемого металла, а также компоновки стола и составляет 3000-4000 м³/ч на 1 м² площади стола.

Помимо использования вытяжных устройств с секционной вытяжкой применяются также решения, в которых вытяжка вредностей реализована при помощи бортовых отсосов.

Бортовой отсос для станков плазменной резки представляет собой вытяжные каналы, проложенные по обе стороны от раскроечного стола.

В каналы встроены вытяжные патрубки длиной до 0,6 м, каждый патрубок имеет индивидуальный дроссель клапан. Включение участка отсоса осуществляется воздействием движущегося портала на выключатели, активирующие соответствующий дроссель-клапан друг напротив друга.



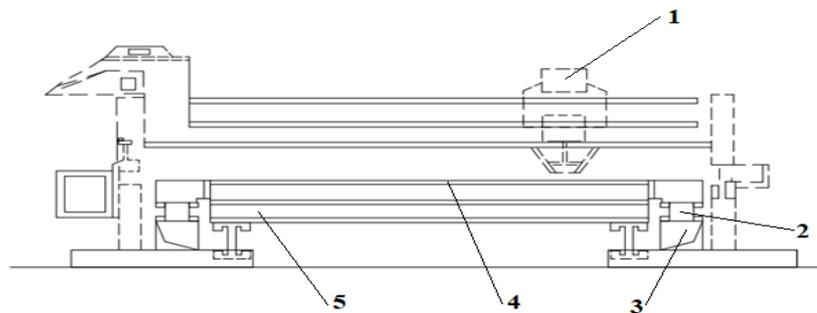
1 – клапан 600x100 мм, 2 – откидной щиток, 3 – лист, 4 – вытяжной патрубок, 5 – сборный канал, 6 – рама.

Рисунок 3- Принципиальная схема бортового отсоса от раскроечной машины

Среди негативных факторов, влияющих на работу отсоса является непроизводительный подсос воздуха. С этой целью по обе стороны отсоса устанавливаются откидные щитки, которые несколько усложняют эксплуатацию

устройства. Устройство отличается значительным расходом воздуха на удаление вредностей около 12000-15000 м³/ч.

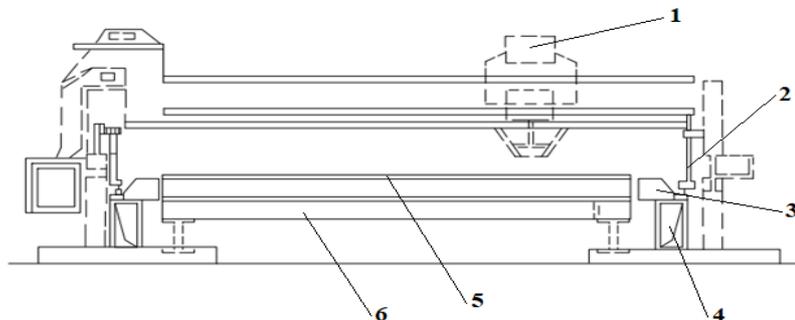
Щелевые отсосы, применяемые при плазменной резке, оснащаются устройством, состоящим из воздуховодов, проложенных вдоль раскроечной рамы со щелью в верхней части закрытой прорезиненной лентой. Подъем ленты осуществляется специальным устройством - при движении портала роликом, закрепленным на корпусе пылеприемника. Удаление вредностей осуществляется из нижней зоны.



1 – плазменно-резательная машина, 2 – штанга, 3 – клапан, 4 – магистральный воздуховод, 5 – раскроечная рама, 6 – поддон

Рисунок 4- Принципиальная схема щелевого отсоса

В усовершенствованном техническом решении в верхней части воздуховодов, проложенных вдоль раскроечной рамы имеются всасывающие отверстия и поворотные клапаны которые открываются штангой при движении портала.

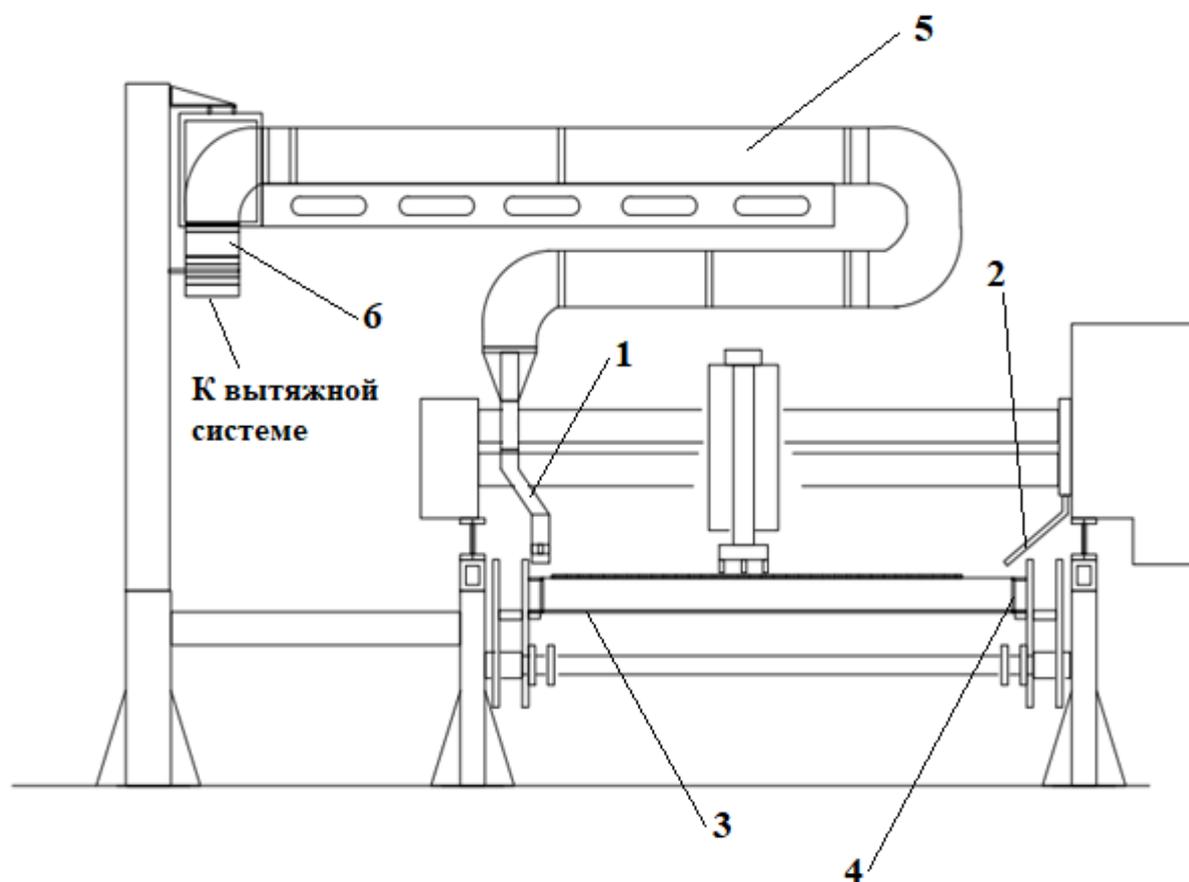


1 – плазменно-резательная машина, 2 – штанга, 3 – клапан, 4 – магистральный воздуховод, 5 – раскроечная рама, 6 – поддон

Рисунок 5 - Принципиальная схема щелевого отсоса с поворотными клапанами

Среди недостатков данных решений можно выделить достаточно сложные механизмы открывания всасывающих устройств, а также их затрудненное обслуживание. Кроме того, ограничивается ширина раскроечной рамы и количество используемых одновременно резаков.

Одной из разновидностей открытых отсосов, которая также нашла применение в станках для плазменной резки являются активированные отсосы.



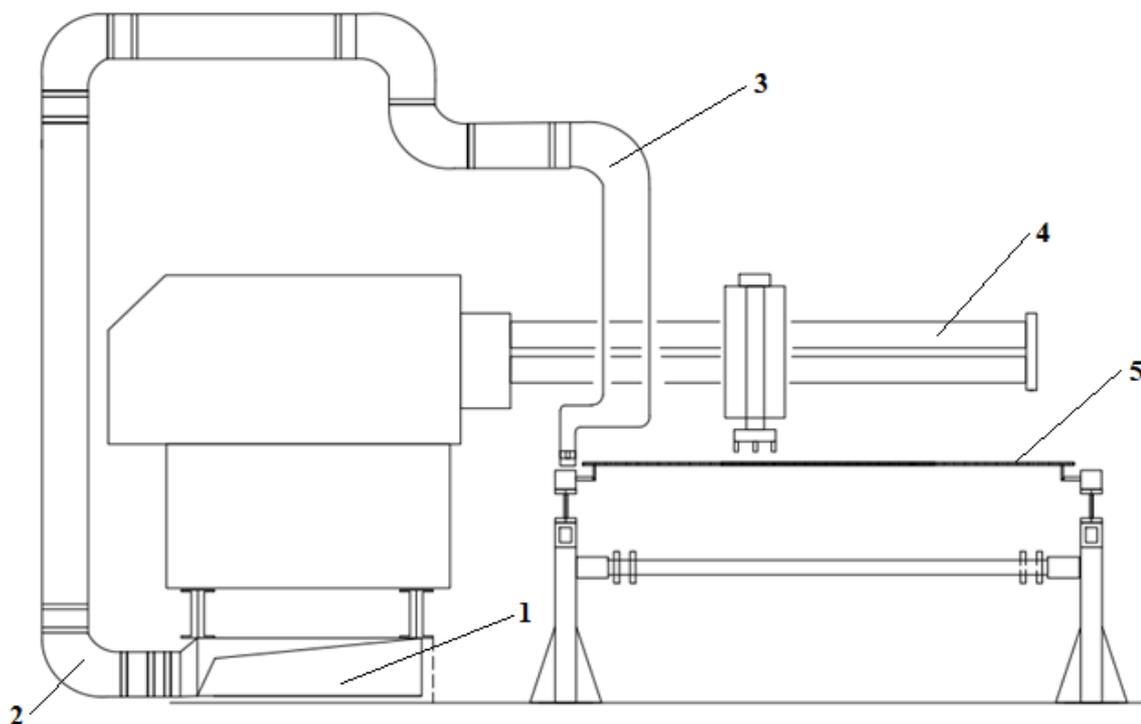
1 – боковой отсос, 2 – патрубок сжатого воздуха, 3 – раскроечная рама, 4 – ребра, 5 – подвижные вытяжные воздуховоды, 6 – стационарный воздуховод

Рисунок 6 - Принципиальная схема активированного отсоса

Конструкция таких отсосов состоит из вытяжного патрубка и подающего патрубка, расположенных друг напротив друга. Расход воздуха на вытяжку в таких решениях составляет около 1500 м³/ч и 25-40 м³/ч на сдв. Активация отсоса происходит путем однонаправленного движения воздуха при этом происходит эжектирование образовавшихся вредностей.

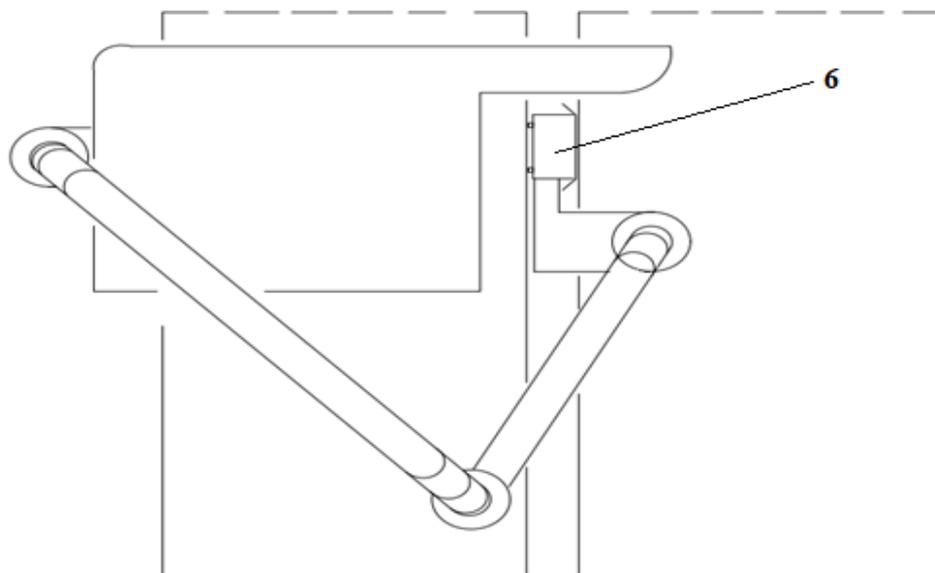
В аналогичных технических решениях существенным недостатком является фактор выдувания вредностей направленной струей, а также нестабильность удаления вредностей при движении заготовки при раскрое металла значительной толщины. Кроме того, вызывает сложности при эксплуатации необходимость использования заготовок определенных размеров и размещать их определенным образом относительно сдувающей струи для правильной организации угла сдувающего потока.

Еще одним решением при организации удаления вредных веществ является местный отсос, прикрепленный на одной оси с резаком, закрепленным на балке резательной машины. Отсос осуществляется с одной стороны рамы через два смежных канала без сдувающей струи. Сечение отверстия местного отсоса, подключенного к шарнирно-сочлененным воздуховодам, с помощью которых происходит перемещение отсоса. Сечение вытяжного отверстия - 160x160 мм при рекомендуемом расходе 1500 м³/ч.



В ряде случаев для некоторых типов станков реализуются решения, в которых организуются укрытия с удалением вредностей из верхней зоны.

На схеме 8 показана принципиальная схема реализации такого технического решения от резательной машины АСШ-70.



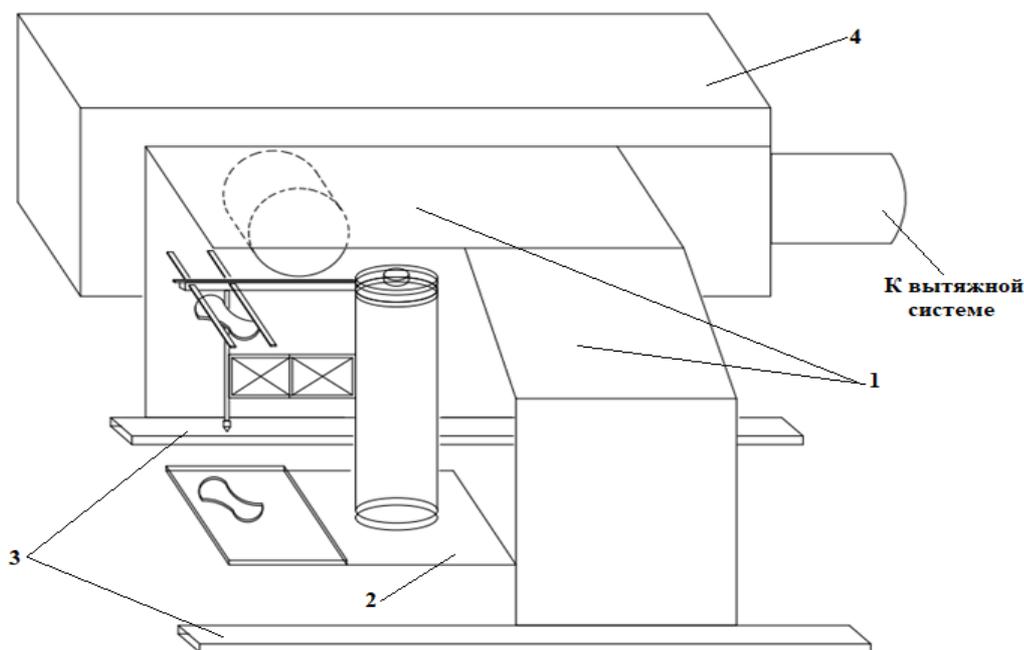
1 – сборный воздуховод, 2 – регулирующий клапан, 3 – шарнирно-сочлененные воздуховоды, 4 – резательная машина, 5 – раскроечная рама, 6 – местный отсос

Рисунок 7- Принципиальная схема местного отсоса.

Над машиной для резки устанавливается укрытие, выполненное из листового металла соединенное воздуховодом с вытяжным коробом. В укрытии имеется окошко, закрытое брезентом, для контроля оператором процесса резки. При работе вытяжного вентилятора брезентовая штора притягивается к окошку для предотвращения попадания вредностей в рабочую зону. При организации удаления вредностей через верхнюю зону происходит загрязнение мелкодисперсной металлической пыли, оказывающей абразивное воздействие [12] на ответственные узлы и оборудование, которое находится внутри укрытия, портала, двигателей плазмотрона и его направляющих механизмов, кабельных линий и трубопроводов, мест их соединений с технологическим оборудованием, что приводит к их выходу из строя.

Кроме того, усложняется оперативный контроль за качеством резки, а также за состоянием технологического оборудования. Усложняется процесс укладки

новых заготовок в особенности листового металла, и извлечение готовой продукцией. При этом работники в процессе извлечения и укладки новых заготовок подвержены неблагоприятному воздействию на органы дыхания и зрения, ввиду необходимости нахождения в запыленном непроветриваемом пространстве.



1 – укрытие, 2 – тележка, 3 – рельсы, 4 – вытяжной воздуховод

Рисунок 8- Принципиальная схема укрытия с удалением вредных веществ от раскройной машины.

Возникает необходимость в трудоемкой очистке, что сказывается на скорости производства. В настоящее время машины АСШ-70 и АСШ-70м комплектуются вытяжным столом.

1.1. Анализ существующих технических решений локальных вентиляционных систем при плазменной обработке металлов

Современные станки плазменной резки являются объединенным комплексом устройств для резки, удаления вредных веществ, а в ряде случаев, и автоматической подачи заготовок, транспортировки готовых изделий, представляют собой автоматизированное устройство с программным

управлением процессами резки, и раскроя деталей, изготовления элементов конструкций, и изделий из заготовок, проката. [13]

Технология автоматизированной плазменной резки появилась относительно недавно и активно развивается для удовлетворения потребностей производств различных отраслей промышленности [14], при этом, несмотря на значительный уровень автоматизации процессов, рабочие, а также непосредственно операторы оборудования подвержены неблагоприятным производственным факторам.

В настоящее время широкое распространение получили различные локальные вытяжные секционные вентиляционные устройства, конструктивно совмещенные с каркасом раскроечного стола. Стоит отметить, что классификация современных автоматизированных порталных машин для плазменной резки, не смотря на широкий перечень отличий и значительную номенклатуру оборудования в литературе отсутствует.

Анализируя технические особенности номенклатуры станков, а также распространенные габаритные размеры листовых заготовок, используемых для раскроя на станках плазменной резки с числовым программным обеспечением можно выделить следующие их виды:

1. Малые станки с ЧПУ для плазменной резки;
2. Средние станки с ЧПУ для плазменной резки;
3. Тяжелые станки с ЧПУ для плазменной резки, автоматизированные комплексы для выполнения цикла операций по обработке металла и порталные обрабатывающие центры.

К характерным особенностям малых станков с ЧПУ можно отнести:

- малую рабочую площадь раскроечного стола (рабочая зона менее 3 x 1,5 м);
- рабочие столы в подавляющем большинстве случаев выполняются не разделенными на секции;
- как правило, данное оборудование редко используется для обработки цветных металлов, чаще для раскроя сталей небольшой толщины до 20 мм.

К средним станкам можно отнести следующие станки:

- рабочая площадь раскроечного стола - значительная (3х1,5 м и более), оборудование позволяет наращивать производственные мощности путем добавления модулей раскроечных столов;
- при необходимости может комплектоваться комплексом для раскроя трубопроводов;
- станок может дополнительно комплектоваться несколькими суппортами для плазменной резки, что позволяет осуществлять одновременное изготовление нескольких деталей;
- раскроечные столы, как правило, поставляются в секционной компоновке с оборудованием для управления (системы управления заслонками секций);
- оборудование используется для обработки широкой номенклатуры металлов, в том числе цветных, различной толщины.

К тяжелым станкам можно отнести станки, обладающие следующими особенностями:

- рабочая площадь позволяет обрабатывать номенклатуру любых крупноформатных заготовок;
- порталы станков комплектуются различными суппортами для выполнения необходимых производственных операций помимо плазменной резки: сверление, фрезерование, маркирование, выполнение реза под углом;
- в зависимости от потребностей производства обрабатывают различные металлы, различных толщин;

К тяжелым станкам также можно отнести автоматизированные комплексы для обработки металлов, отличительной особенностью которых является компоновочная схема, в которой портал установлен неподвижно, а подача металла на обработку выполняется прокатной линией - рольганговой или тележечной. Раскроечный стол в компоновке агрегата отсутствует.

Следует отметить, что проблема удаления вредных выделений при плазменной резке металлов присутствует независимо от типоразмера

оборудования, при этом с увеличением мощности оборудования актуальность проблемы возрастает.

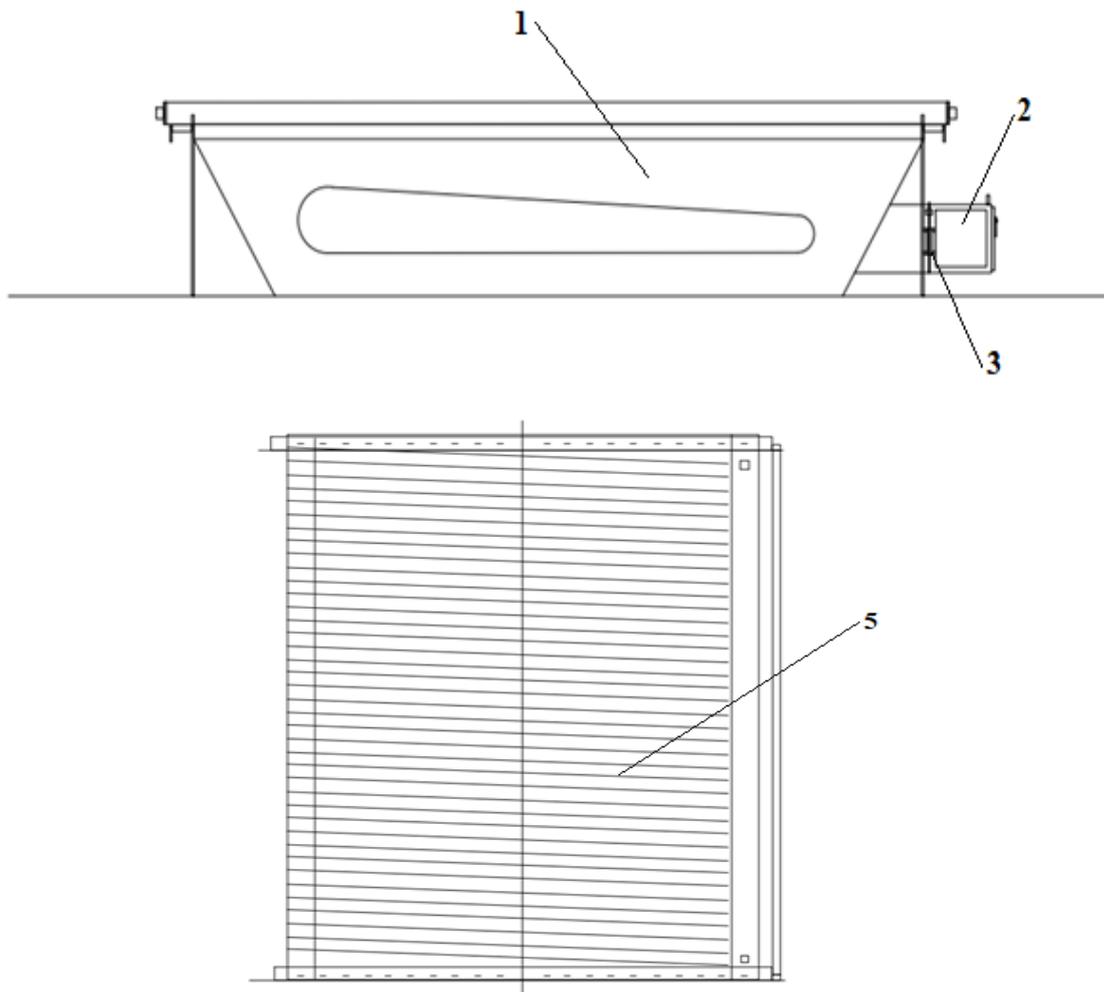
Современный станок для плазменной резки с ЧПУ состоит из следующих основных узлов [15, 16]:

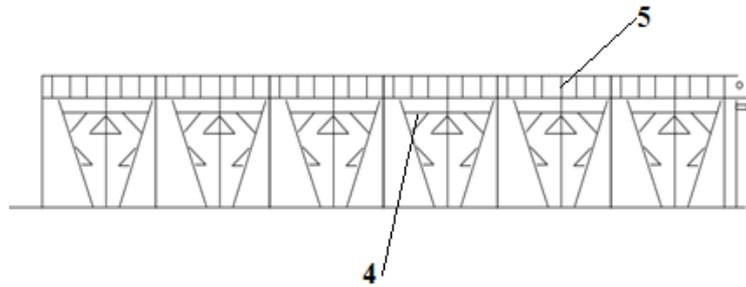
Опорный каркас портала - представляет собой конструкцию, состоящую из вертикальных опор, которые крепятся к фундаменту и горизонтальных балок, размещаемых на вертикальных опорах. Служит опорной конструкцией с направляющими для двигателей портала. На опорный каркас также устанавливается портал, его двигатели для перемещения вдоль раскроечного стола, а также узлы и агрегаты для резки металла, кабельные трассы для подвода электроэнергии к плазматрону, шланги для подвода газов, трубки для подвода воды для охлаждения плазматрона. Раскроечный стол устанавливается между опорами каркаса, в непосредственной близости от них.

Портал - представляет собой конструкцию, состоящую из П-образной балки, на которую устанавливаются двигатели, которые приводят в движение конструкцию. По верхней части портала прокладываются системы коммуникаций, подводящие газы, и силовые кабели к плазматрону. Помимо коммуникаций на портале закрепляются направляющие для управления ходом плазматрона, по вертикали и горизонтали. В зависимости от габаритных размеров порталов на них может, закрепляться один или несколько плазматронов, которые в свою очередь крепятся на направляющем устройстве основной функцией, которого является регулирование высоты резака над заготовкой. В ряде решений на тяжелых станках, а также автоматизированных комплексах на портале размещается пост оператора управляющего станком. Плазматрон представляет собой устройство, состоящее из корпуса с системой каналов для подачи газов, а также подвода и отвода охлаждающей жидкости, сопла, наконечника, изолятора, электрода, и предназначенное для разрезания металла посредством плазмы. Плазматроны имеют различные компоновочные решения и габаритные размеры, выполняются из различных материалов, что

обусловлено сферой их применения, при этом различают плазмотроны косвенного и прямого действия. При косвенном действии возбуждение дуги происходит без участия заготовки, посредством возникновения дуги между соплом инструмента и электродом, в таком случае образовывается плазменная струя.

Раскроечный стол - состоящий из опорного каркаса, который представляет собой металлоконструкцию, на которой размещаются ламели, каркас для крепления сетки, сетка для улавливания мелкоформатных деталей, вытяжные секции, которые выполняют функцию удаления выделившихся в процессе резки металла аэрозолей, а также бункера для сбора, грата и капель металла. В ряде случаев раскроечный стол не укомплектовывается секциям и обшивается листовым металлом либо представляет собой моноконструкцию на которую крепится портал.





1-бункер-секция для сбора грата и удаления вредных веществ, 2-сборный воздуховод, 3-устройство регулирования работы секций, 4- ограничивающая решетка, предотвращающая падение мелких деталей, 5-ламели.

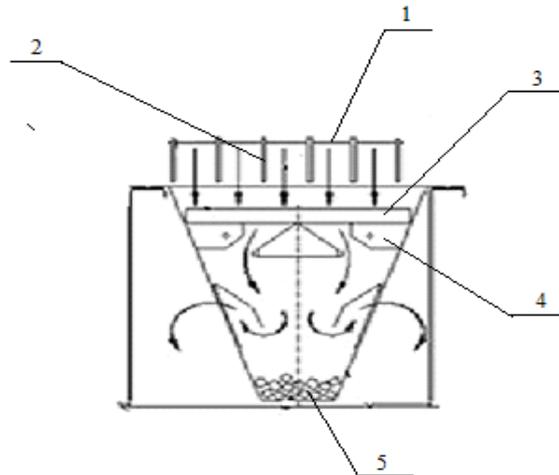
Рисунок 9- Принципиальная схема секционного вытяжного стола.

Ламели - представляют собой металлические полосы, на которые укладывается заготовка для раскроя. Ламели устанавливаются на столе, как в продольном, так и в поперечном направлении относительно движения портала. Конструктивно ламели выполняются из прямых либо изогнутых металлических пластин имеющих прямоугольный, треугольный, профиль овальный к вершине.

Ламели подвержены износу ввиду прожигания их плазменной струей, кроме того расположение ламелей их форма и шаг влияют на движение вредностей под плоскостью заготовки. Для удобства извлечения деталей под ламелями закрепляется сетка для их улавливания. Под сеткой размещаются секции либо сегменты, которые одновременно служат как элемент вентиляционной системы для удаления аэрозолей, а также как емкость для сбора грата и металлических капель. Секции, как правило, выполняются шириной от 0,5-0,7 м до 1 м и представляют собой бункер трапециевидного профиля с торцевыми отверстиями, которые в зависимости от положения плазмотрона открываются, или закрываются заслонками.

В зависимости от габаритных размеров столов также применяются иные профили секций - пирамидальной формы, реже прямоугольной. Заслонки открываются либо закрываются в зависимости от пространственного положения плазмотрона. Благодаря работе направляющего механизма, воздействующего на пневматическую систему, происходит последовательное открывание заслонок

либо в случае механического управления - открытие и закрытие происходит направляющим аппаратом.



1-листовая заготовка, 2-ламель, 3-решетка, 4-крепежная система решетки, 5-грат, шлам.

Рисунок 10- Принципиальная схема сечения вытяжного стола

Посредством такого алгоритма действий в работу включается одна секция, над которой непосредственно и происходит резка, таким образом, происходит условная локализация зоны выделения вредных выбросов.

В столах, применяемых для малых станков, для которых секционирование в большинстве случаев не применяется, а также для некоторых столов, используемых на средних станках, секционирование не используется. Применяется решение, при котором каркас стола обшивается листами металла, а в пространство под столом прокладываются вытяжные воздуховоды, обеспечивающие удаление вредностей. Также распространено решение, в котором воздуховоды в столе не прокладываются, а в торец стола устанавливается осевой вентилятор производительностью 6000-8000 м³/ч. Габаритные характеристики и расходы воздуха вытяжных столов, производимых некоторыми отечественными, и зарубежными производителями сведены в таблицу 1. [17-32]

Воздуховоды секций, соединенные сборным воздуховодом, подключаются к фильтровентиляционному оборудованию, которое представляет собой комплекс устройств, для удаления вредные вещества, которые образуются в

процессе плазменной резки, а также очистки воздуха, который в ряде случаев соединяется с общецеховой системой вентиляции и направляется обратно в систему. В состав фильтровентиляционных установок входят: система воздуховодов служащих для отвода образовавшихся газов, различные осадители, скрубберы, циклоны, электрические, водяные, фильтры тонкой очистки, рекуператоры.

Таблица 1 - габаритные характеристики и расходы воздуха вытяжных столов, применяемых на современном оборудовании для плазменной резки.

№ п.п.	Производитель	Модель Установки/стола	Габаритные размеры	Требуемый расход удаляемого воздуха м ³ /ч	Тип применяемого устройства для удаления вредных веществ
1	AMN Engineering Россия	PSM 2500	3300x2050 Рабочее поле 2500x1250	3800-5450	Секционная вытяжка, встроенная в раскроечный стол с удалением из нижней зоны
		PM 3000	7000x2850 Рабочее поле 3000x1500		
		PB 3000	8100x5000 Рабочее поле 2100x6200		
		PBMax	8100x5000 Рабочее поле 2100x6200 с рабочем полем до 12000x2100 при удлинении стола до 24000 мм		
2	САЭМ ПЛАЗМА Россия	СП 212С	2765 x 13185 Рабочее поле 2100 x 12200 (20 секций)	6500-10000	тоже
		Вытяжной стол САЭМ СПР-156 2 модуля СПР- 153	1650x6200 Рабочая поверхность 1600x6200		
		Вытяжной стол САЭМ СПР-23	2100x3100 Рабочая поверхность 2100x3100 5 секций		
		Вытяжной стол САЭМ СПР-26 2 модуля САЭМ СПР-23	2100x6200 Рабочая поверхность 2100x6200		
		Вытяжной стол САЭМ СПР-153	1650x3100		

			Рабочая поверхность 1600х3100 10 секций		
3	Avalanche	Avalanche 15-30 Avalanche 15-60 Avalanche 20-30 Avalanche 20-60	Размеры рабочей зоны 1500х3000 1500х6000 2000х3000 2000х6000	3200-5100	тоже
4	Совплим Россия	Вытяжные столы MBC 15x20 MBC 15x25 MBC 20x15 MBC 20x20	Рабочая зона 2000х1500 1500х2500 2000х1500 2000х2000	3600 4800	тоже
5	Анкорд	PLASMATEC 6020	7000 х 2800	3810-6850	тоже
6	Triumph Германия	TRIUMPH	20000х4000	12000	тоже
7	ОАО ЗОНТ	СР-В-О тип 2	3600 х 18000 2500 х 10000 2000 х 8000	8000 9000 7000	2 сторонний бортовой отсос с системой заслонок
		СР-В-О тип 1	1600 х 3000	8000	Секционная вытяжка, встроенная в раскроечный стол с удалением из нижней зоны
8	ООО "НВФ Радиан"	Катран	1560 х 3060	8700	Секционная вытяжка, встроенная в раскроечный стол с удалением из нижней зоны
9	Durma	Durma PL	6100х2100	9000	Секционная вытяжка, встроенная в раскроечный стол с удалением из нижней зоны сборным воздуховодом
10	ТриИнтер	TR-HD 1560/2060	1500х3000 1500х6000 2000х3000 2000х6000	8000	Секционная вытяжка встроенная в раскроечный стол с удалением из нижней зоны
11	ЗАО Сургуттракторцентр	STC PLASMA	2050х3120 2050х6240 2050х6240 1650х3120	Не менее 6000	Секционная вытяжка встроенная в раскроечный стол с удалением из нижней зоны

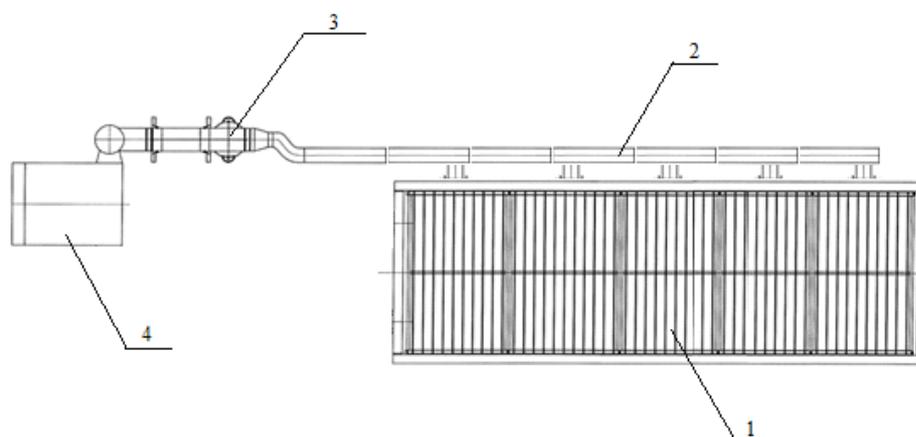
12	ГК Сибирь	Сибирь ARM	1500x3000	2950-5500	Секционная вытяжка, встроенная в раскроечный стол с удалением из нижней зоны
13	ООО Портальные машины	Шквал	1500x3000 2000x3000	2200-5000	Секционная вытяжка, встроенная в раскроечный стол с удалением из нижней зоны
			1500x6000	5700-9400	
14	ООО Теплолентмаш	СК Старт 2М15-30 (2 сегмента) СК Старт 2М15-45 (3 сегмента) СК Старт 2М15-60 (4 сегмента) Станки серии TVP	1500x3000	2200-5000 8800-11500*	Секционная вытяжка, встроенная в раскроечный стол с удалением из нижней зоны
			1500x4500 1500x6100 1500x3000-2500x6000		
15	Eckert	Sapphire	Ширина реза от 1500мм до 7000мм Длина реза от 1500 - без ограничений (рабочая зона)	Не менее 6000	Многосекционная вытяжка встроенная в раскроечный стол с удалением из нижней зоны
16	Pierce (Чехия)	Light	1000-1500x 1000-3000	5000-9000	Секционная вытяжка, встроенная в раскроечный стол с удалением из нижней зоны
		Light+	1000-2600x 1000-12000		
		Standard	1500-3100x2000-без ограничений		
		Heavy (Heavy+)	2000-3100x2000-без ограничений		

*Прим.- при комплектации с вентиляторами ВЦ 14-46-5,0 (5,5-1000)

Анализируя данные производителей видно значительное расхождение типоразмеров вытяжных столов, их рабочих поверхностей с потребным расходом воздуха, который достигает 1000-2000 м³/ч, а в некоторых случаях и более. Например, для столов СР-В-О тип 1 [17] с размерами рабочей зоны 1600x3000 требуемый расход воздуха составляет 8000 м³/ч, что сопоставимо с вытяжными столами PLASMATEC, TR-HD [18,19] и некоторых других с

размерами рабочей зоны 2000x6000. Также, расходы воздуха для вышеуказанного оборудования сопоставимы с расходами для сегментных столов Avalanche, СК Старт [21] и крупносекционных столов, входящих в установки серии TVG производства ООО "Тепловентмаш" и установки Sapphire производства "Eckert"[22,23] с сопоставимыми площадями рабочей зоны.

Среди вытяжных столов по способу компоновки приемных устройств можно выделить секционные и несекционные устройства. Секционные столы в свою очередь можно также разделить на столы с продольным и поперечным расположением секций относительно оси движения портала.

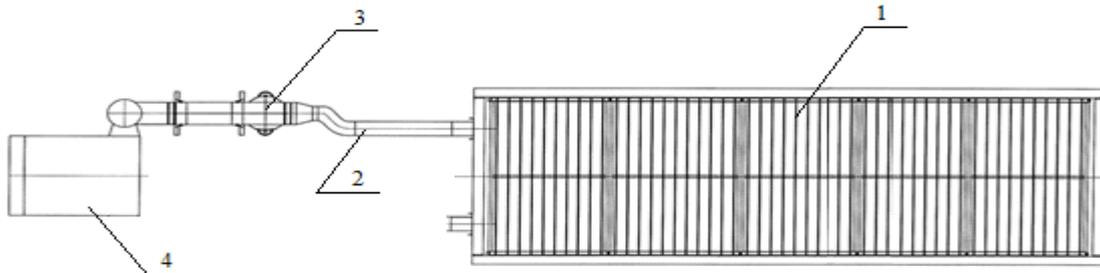


1-секционный стол, 2-сборный воздуховод, 3- вентилятор, 4-фильтровентиляционная установка.

Рисунок 11- Принципиальная схема установки для плазменной резки с секционным столом.

В станках фирмы AMN Engineering (Россия) для вытяжных столов и станков плазменной резки применяется секционная компоновка. Толщины обрабатываемого металла станками плазменной резки PSM2500, PM3000, PB3000 от 0,5 до 300 мм в зависимости от типоразмера оборудования. Оборудование позволяет обрабатывать листы токопроводящего металла (черная сталь, нержавеющая сталь, алюминий, медь и пр.) и комплектуется вентиляторами ВР 280-46-(4.0/1500) ЛО с максимальной производительностью 5450 м³/ч, при этом для целей локальной вытяжной вентиляции применяются секционные столы (до 24 секций в зависимости от типоразмера оборудования)

для вытяжки газов, с местной активацией секций пневмоприводом. Раскроечные столы выполняются по модульной схеме, имеют возможность подключения вентиляционного оборудования с любого торца стола. Размеры столов от 1,25×1,25 до 4 ×24 м [26].

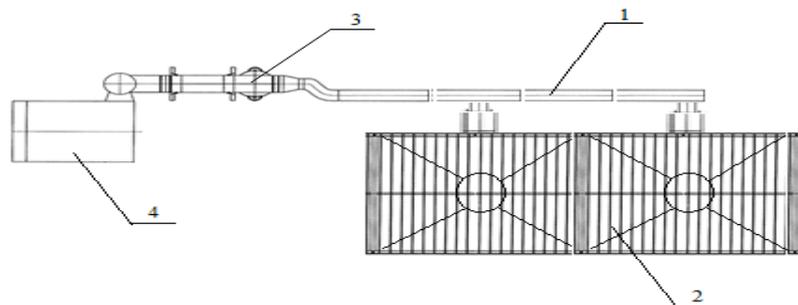


1-секционный стол с встроенными каналами для удаления вредностей, 2- воздуховод, 3- вентилятор, 4- фильтровентиляционная установка.

Рисунок 12- Принципиальная схема стола AMN Engineering

Одним из вариантов секционирования является деление стола на укрупненные секции. В станках Avalanche секционирование выполнено поддонами пирамидальной формы с торцевым подводом воздуховодов диаметром не менее 315 мм. Для столов длиной 3 и 6 метров устанавливается 2 и 4 поддона, соответственно. В работу могут включаться как одна секция, так и несколько, при этом потребный расход воздуха составляет 3000-5000 м³/ч.

Похожее техническое решение применяется в отечественных станках выпускаемыми ООО "Тепловентмаш". Станки СК Старт 2М выполняются в двух, трех и четырех сегментном исполнении с возможностью отключения незадействованных сегментов.



1- сборный воздуховод, 2- крупносекционный вытяжной стол с секциями пирамидальной формы, 3- вентилятор, 4-фильтровентиляционная установка.

Рисунок 13- Принципиальная схема стола Avalanche

Станки комплектуются вентиляторами ЦП 7-40-5,0 с электродвигателем мощностью 5,5 кВт (частота вращения - 1500 оборотов в минуту) производительностью до 5000 м³/ч либо вентиляторами ВЦ 14-46-5 с электродвигателем мощностью 5,5 кВт частота вращения - 1000 оборотов в минуту) производительностью до 11500 м³/ч. Новые модели станков ООО Тепловентмаш серии TVP комплектуются вытяжными вентиляторами модели ВЦП 7-40 №6 с производительностью в зависимости от режима работы и модификации - 4100-18000 м³/ч..

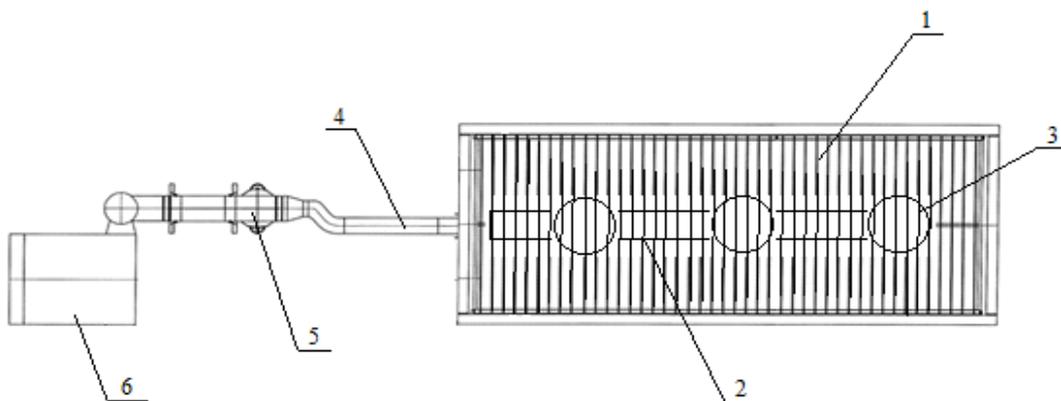
Плазменные машины производства САЭМ ПЛАЗМА (Россия) комплектуются столами САЭМ СПР для обработки заготовок с толщиной до 150 мм. Столы для плазменной резки выполнены модулями, которые позволяют реализовывать наращивание конструкции в зависимости от потребностей и оснащаются секциями, подключенными к внутренним воздушным каналам для удаления вредностей. Один модуль содержит 5 секций.

Принцип действия системы заключается в воздействии закрепленной на портале станка прижимной штанги на роликовый пневмораспределитель, который при движении активирует механизм подачи сжатого воздуха к пневмоцилиндру воздушного клапана секции, над которой проходит портал. Благодаря работе по такой схеме происходит последовательная активация/деактивация секций, над которыми находится портал и соответственно происходит резка. Привод распределительных клапанов осуществляется автоматически, пневмоцилиндрами двустороннего действия, которые находятся внутри воздуховода. Диаметр фланца для подключения воздухопроводов - 315мм. [30]

Ряд иностранных производителей станков и установок для плазменной резки применяют компоновочные решения вытяжных столов, которые схожи с отечественными разработками. В машинах для плазменной резки серии Triumph (Германия) и в вытяжных столах Pierce (Чехия) [31,32] также применяется модульная конструкция столов с разбивкой на секции и активацией секций в

зависимости от положения плазмотрона. В зависимости от типоразмера к вытяжным столам Pierce подключается один или два вытяжных воздуховода. Однако, несмотря на схожие компоновочные решения ряд производителей применяет в своей технике иные технические решения.

В станках FLORETT производства SPIRO (Швейцария) применяемых в основном для раскроя тонколистового металла - оцинкованной мягкой стали, жести (до 8 мм), реализована следующая схема удаления вредностей - в стол, выполненный в форме чаши трапецевидного сечения [33] подводится вытяжной воздуховод круглого сечения, в верхней части которого расположено несколько перфорированных отводов, которые удаляют образовавшиеся вредности. В данном техническом решении секционирование стола не выполняется, а заготовка на столе располагается таким образом, чтобы создать максимально закрытую область реза.



1- стол для раскройки, 2- сборный воздуховод, 3- перфорированное устройство для удаления вредностей, 4- воздуховод, 5- вентилятор, 6- фильтровентиляционная установка.

Рисунок 14- Принципиальная схема стола FLORETT

Анализ технических решений подтверждает, что схемы с нижним удалением вредностей являются преобладающими и характеризуются большим потребным расходом воздуха.

Устоявшейся и наиболее распространенной схемой удаления вредных веществ при плазменной резке является удаление вредных выбросов из нижней зоны разрезаемой детали через секционные устройства, которые

устанавливаются в стол. Габаритные размеры секций и их форма различны и зависят от принятой схемы организации удаления вредных выбросов, а также от способа очистки производственного оборудования от грата и капель металла, а также удобства извлечения мелких изделий и деталей.

Организация удаления вредных выделений осуществляется через торцевые отверстия в вытяжных секциях и далее по боковым воздушным каналам либо воздуховодам, проложенным непосредственно в раскроечном столе, отводится вентилятором к очистной установке, либо за пределы здания. Такая схема организации локальной вытяжной вентиляции характеризуется большим расходом воздуха (средний расход воздуха 5000-6000 м³/ч) и значительной металлоемкостью, а также сложностью в эксплуатации ввиду деформации секций, термических повреждений элементов системы управления заслонками.

Менее распространенные решения по удалению вредных выделений - устройство укрытий, удаление вредностей из средней зоны, то есть с размещением всасывающего устройства соосно с листом металла, при этом удаление вредностей одновременно производится как из верхней, так и из нижней зоны, ламели в этом случае находятся параллельно порталу, однако такое решение нецелесообразно применять, например, при расположении ламелей поперек относительно портала, а также в случае их перекрестного расположения и при некоторых способах секционирования. Также малораспространенным способом удаления вредностей на современном оборудовании является смешанное удаление - из верхней зоны при помощи устройства встроенного в направляющий аппарат плазмотрона и через бессекционный раскроечный стол.

Рассмотрев основные инженерные и конструктивные решения, применяемые для удаления выделяемых вредных веществ целесообразно классифицировать данные устройства учитывая основные характеристики, конструктивные особенности и способы удаления вредностей.

Классификация локальных вытяжных систем, применяемых на станках для плазменной резки.

Применяемые на станках для плазменного резки устройства целесообразно классифицировать по следующим основным группам:

Конструктивно:

1. Совмещенные с конструктивными элементами станка для плазменной резки;
2. Не совмещенные;
3. Смешанные.

Совмещенные в свою очередь делятся на:

- 2.1. Встроенные в портал;
- 2.2. Встроенные в направляющий аппарат плазмотрона;
- 2.3. Встроенные в раскроечный стол. Конструкции, встроенные в раскроечный стол, делятся на секционные и бессекционные.

3. По локации удаления вредностей:

- 3.1. Из верхней зоны;
- 3.2. Из нижней зоны;
- 3.3. Из средней зоны;
- 3.4. Смешанно.

4. По расходу удаляемого воздуха:

- 4.1. Сверхмалый расход - до 1000 м³/ч;
- 4.2. Малый расход - от 1000 до 4000 м³/ч;
- 4.3. Средний расход - от 4000 до 8000 м³/ч;
- 4.4. Большой расход - свыше 8000 м³/ч

Таким образом, конструктивно-компоновочные решения в современных станках плазменной резки с ЧПУ являются одним из ключевых факторов при выборе схемы организации процесса удаления вредностей при этом, несмотря на распространенное применение секционных вытяжных столов, поиск альтернативных способов организации удаления вредностей остается актуальным. Обусловлено это потребностью снижения эксплуатационных и

капитальных затрат, а именно уменьшением требуемого расхода воздуха, снижением металлоемкости, улучшением показателей условий труда на рабочих местах, а также снижением капитальных затрат на вентиляцию производственных помещений в целом.

1.2. Методы расчета и подбора вытяжных систем при плазменной обработке металлов

Удаление вредностей от современных раскроечных столов плазменной резки имеет ряд особенностей, которые заключаются в том, что подавляющее большинство вредностей локализуются в нижней плоскости - под заготовкой существующие методы расчетов требуемого количества воздуха от раскроечных столов для плазменной резки не универсальны и зависят от способа организации удаления вредностей от столов плазменной резки и конструктивных особенностей, конкретных образцов вытяжных устройств. Существующие методики расчета количества удаляемого воздуха от секционных вытяжных столов, плазменной резки предлагают определять требуемый расход воздуха следующим выражением:

$$L=L_1*F*k_{\text{вкл}}+0,1*L_1*F*k_{\text{откл}} \quad (1)$$

где:

L_1 - удельный объем удаляемого воздуха с 1 м² площади раскроечной рамы рекомендуемое значение равно 4000 м³/ч*м²;

F- площадь стола, обслуживаемая одной секцией местного отсоса, м²;

$k_{\text{вкл}}$ - число одновременно включенных секций, шт;

$k_{\text{откл}}$ -число отключенных секций местного отсоса, присоединенных к вентиляционной сети, шт.

Для столов плазменной резки оборудованных комбинированными устройствами для удаления воздуха с организацией воздухоудаления из-под

плоскости заготовки бортовыми отсосами с целью рекомендуется следующая формула определения расхода удаляемого воздуха

$$L=a*b*L_1*n_{\text{кан}}*p*m \quad (2)$$

где:

a- расстояние между ребрами рамы, м;

b- ширина рамы обслуживаемая пылегазоприемником, м;

L_1 - тоже что в формуле (1);

$n_{\text{кан}}$ - количество одновременно вентилируемых каналов, шт;

p- коэффициент, учитывающий подсос воздуха через неплотности;

m- количество магистральных воздуховодов, шт.

Кроме того, помимо методических существует ряд технических особенностей, которые следует учитывать при подборе местных отсосов, особенно которые используются для локализации вредностей в нижней зоне, в частности для неизотермических струй. Позиционирование местного отсоса по отношению к оси неизотермической струи стоит осуществлять соосно и как можно ближе к формирующему участку струи [34]. В исследовании [35] на жидкостной модели взаимодействия местного отсоса в виде патрубка с острыми кромками и неизотермической струи было установлено, что отдаление отсоса на расстояние, при котором достигается максимальное расширение струи негативно влияет на улавливание вредностей, выраженное в забегании потока за кромки патрубка, а также в вовлечении дополнительного объема воздуха из окружающего пространства. Также применительно к плазменной резке стоит учитывать рекомендуемые скорости в спектре всасывания в зоне резки (источнике вредностей) в диапазоне 1,5-2 м/с.

Таким образом, следует разработать метод подбора вытяжного устройства, учитывающий особенности организации удаления воздуха из нижней части заготовки учитывающий технические особенности устройств применяемых для удаления вредностей при помощи локальной вытяжной вентиляции реализованный путем отсоса из зоны выделения вредностей загрязненного ими

воздуха путем формирования центрального вытяжного факела позиционированного соосно оси выделения вредной от плазменной резки и формирования приточного потока воздуха в виде радиальной веерной струи.

1.3 Влияние технологических требований

Помимо организации рабочего процесса безопасного для персонала производств локальную вытяжную вентиляцию важно применять также и в целях защиты оборудования. Помимо плазмотрона в отсутствие вентиляции происходит подъем вредностей, которые оседают на движущихся частях портала, направляющих аппаратах плазмотрона, двигателях, шарнирах, подшипниках. Это приводит к необходимости ревизий, ремонтов и замены оборудования вне регламента, что помимо капитальных затрат также влечет за собой издержки, связанные с простоем производственных единиц.

Температура возбуждаемой плазменной дуги составляет от 5000 до 20000 С° при скорости до 1500 м/с. Под действием дуги за счет термического воздействия металл из места реза большей частью испаряется с образованием плавильной пыли, выбрасываемой в атмосферу, либо затвердевает в месте резки в виде грата. Чем более правильный подобран режим резки, тем лучше получается качество реза, а количество грата уменьшается. Чем выше температура термического воздействия, тем большая часть металла переходит в пар и чем ниже температура, тем большая часть металла остается в виде грата на швах или в виде расплава налипать на края реза или стекать вниз. Испарение металла способствует образованию брызг, чем их больше, тем больше площадь испарения металла и больше образуется плавильной пыли. Как отмечалось ранее вся плавильная пыль, образующаяся в процессе резки мелкодисперсна. Размер ее приближается к наноуровню, так как пары металла сразу попадают в окружающую среду с низкой температурой, где сразу конденсируются и затвердевают. Пары металла, образующиеся при резке попадая в значительно

более холодную окружающую среду, конденсируются на множестве центров конденсации пыли. Количество плавильной пыли, образующейся при плазменной резке ниже, чем при газовой, ввиду того, что ширина реза металла получается уже, однако скорость реза значительно выше, что обеспечивает большую мощность выброса [36].

При плазменной резке для получения дуги используются различные активные и неактивные газы. К активным газам относят кислород, а также воздух. К неактивным относят водород, аргон, азот. При резке черных металлов применяются в основном активные газы, неактивные - для сплавов, а также цветных металлов. Для интенсификации резки используются химически активная плазма. Эффективность резки металлов растет при использовании газов, экзотермически реагирующих с кислородом. Благодаря этому повышается производительность резки [37]. Количество плавильной пыли, выброшенной в окружающую среду, зависит от ширины разреза, толщины металла. Мощность выброса зависит также от скорости резки.

Процесс плазменной резки начинается с подготовительных этапов. На подготовительных этапах производится укладка листа металла или заготовки на раскроечный стол. Лист металла должен располагаться таким образом, чтобы закрывать не менее 75-80% рабочей площади стола, однако в производственном процессе не редки случаи отступления от данных рекомендаций, что ведет к непроизводительной работе вентиляционного оборудования ввиду увеличения подсосов воздуха. После укладки металла производится всверливание в заготовку, выполняется сквозное отверстие с рекомендованной шириной не менее 6 мм и далее с этой точки плазматрон начинает раскрой. Эта операция выполняется в случаях, когда будет производиться раскрой заготовок от 40-50 мм для различных металлов. Выполнение этой операции достаточно трудоемко и отнимает значительное время даже при применении автоматизированных средств. Альтернативной данному способу служит процесс так называемого пробития заготовки плазменной дугой. Этот процесс характеризуется

значительным выделением вредных веществ особенно при предельных значениях разрезаемых толщин металла. В процессе пробивки расплавленный металл выдувается из кратера режущей струей. Временной интервал от начала пробития, при котором происходит регулирование плазмотрона до момента начала резки называется временем пробивки. В случае если резка начинается вне контура детали на поверхности листа, то такой способ именуют пробитием на отходе. Скорость движения плазмотрона при пробивке уменьшается в 1,5-2 раза от заданной. Для толщин 20-30 мм врезание или пробивка особых регулировок не требует [38]. Кроме того, температура при плазменной резке в зоне реза выше, чем, например, при газовой резке, что обеспечивает практически полное испарение металла в зоне реза, а, следовательно, большее пылевыведение.

Таблица 2 - скорости резки металлов в зависимости от толщины и вида обрабатываемого металла

Толщина металла, мм	Скорость резки, м/мин		
	Сталь	алюминий	медь
5	4-6	4,5-5	1,7-3
10	1,9-3,6	2,4-4,2	1,1-2
15	1,2-3	1,6-3,5	0,65-1,6
20	1-2,3	1,3-3	0,45-1,2
40	0,6-0,9	0,9-1,2	0,3-0,6
60	0,3-0,4	0,4-0,6	0,1-0,3
100	0,1	0,2	-

Выполнение реза при производстве различных деталей также влияет на выделение вредных веществ. При выполнении прямолинейного реза скорость ограничивается значениями выше которых сквозное прорезание не достигается. На криволинейных участках с целью недопущения искажения кромок детали скорость реза также снижают до 40-50%. При завершении реза скорость также понижают для осуществления прорезания на конечном участке [39, 40].

1.4. Выводы по главе 1

1. Анализ существующих технических решений вытяжной вентиляции показал, что существует значительный потенциал для модернизации применяемых плазменных станков на различных производствах для поддержания требуемых параметров микроклимата путем совершенствования средств локализации, удаления воздуха от нестационарных мест плазменной резки металлов и снижения энергетических затрат путем более широкого внедрения локальной вытяжной вентиляции.
2. Существующие решения вытяжной вентиляции при автоматизированной плазменной резке плазменной резки характеризуются значительными затратами на организацию удаления вредностей, что создает условия для поиска путей оптимизации и уменьшения затрат на эффективное удаление вредностей.
3. Вопрос применение местной вытяжной вентиляции на оборудовании для плазменной резки является перспективным и слабоизученным в контексте уменьшения эксплуатационных и капитальных затрат при поддержании требуемых условий труда.

ГЛАВА 2.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОАКСИАЛЬНОГО ВЫТЯЖНОГО УСТРОЙСТВА

Задача теоретического исследования геометрических характеристик коаксиального вытяжного устройства состоит в усовершенствовании и разработке модели вытяжного устройства, позволяющей разработать методику расчета систем локальной вытяжной вентиляции, опираясь на которую возможно получить решения по повышению эффективности работы систем локальной вытяжной вентиляции при плазменной обработке металлов. Исходя из потребности в обеспечении гигиенических условий труда [41-43] в зонах, отведенных под процессы, связанные с плазменной резкой в современных производствах, определена необходимость совершенствования локальных систем вентиляции. При этом гигиенические условия труда определяются в большей степени организацией способа удаления вредных выбросов, техническим устройством, применяемым для локальной вытяжки.

Применяемые для целей локальной вытяжной вентиляции при плазменной резки технологические решения на станках можно выделить в 2 основные принципиальные аэродинамические схемы - вытяжка без сдувающих потоков и вытяжка со сдувом в направлении всасывающего течения при этом в современном оборудовании для плазменной резки предпочтение отдается вытяжке без сдувающих потоков ввиду ряда технологических особенностей, обусловленных процессом организации направленного сдувающего потока. Основной проблемой, возникающей при применении данной аэродинамической схемы, является то, что при скорости воздуха в спектрах всасывания убывает обратно пропорционально квадрату расстояния от отсоса [44]. При этом на расстоянии одного диаметра всасывающего отверстия скорость в 16 раз меньше скорости в отверстии, что составляет около 6-8% [45]. Отсюда следует, что для того, чтобы обеспечить рекомендуемые скорости для удаления вредных в

зависимости от режима реза и типа металла и параметров заготовки по общему правилу следует располагать местный отсос наиболее близко к месту выделения вредных выбросов [46].

Кроме того, из вышеуказанной зависимости следует, что при некотором значительном удалении от места образования вредных выделений обусловленном технологическим размещением узлов и механизмов, в частности станков, следует многократно увеличить расход удаляемого воздуха, который смог бы обеспечить захват выделяемых вредностей и их удаление. Данное утверждение подтверждается результатами анализа расхода удаляемого воздуха от различных станков. На рисунке 15 представлена схема точечного стока.

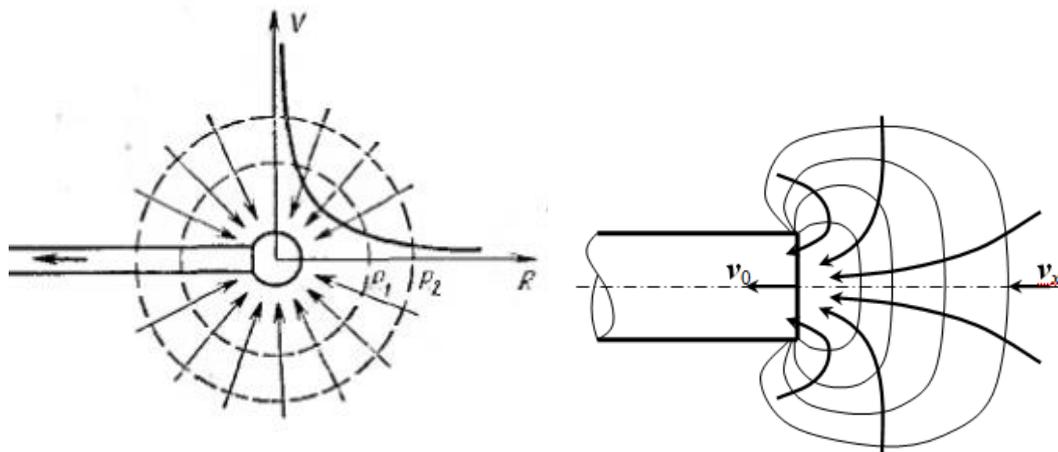


Рисунок 15-Модель точечного стока

Известно, что для моделирования и описания в практике процессов работы воздушных течений при работе местных отсосов применяется понятие точечного стока. Точечный сток представляет собой шаровую, бесконечно малого радиуса проницаемую поверхность, расположенную в изотропной среде. Установлено, что воздух подтекает к точечному стоку по радиусу при этом происходит значительное падение скорости всасывания - обратно пропорционально квадрату расстояния от отсоса. Например, при отстоянии источника вредных выделений от зоны выделения вредных выбросов на 30%, скорость воздуха в источнике вредностей уменьшится на 70% [47].

Анализируя рисунок 14 видно, что спектр всасывания при вытяжке образует сферу, происходит подтекание потоков воздуха не только из фронтальной плоскости, но также и с тыльной. Этим обусловлено снижение потенциала всасывающего потока. Величина скорости воздуха на некотором расстоянии от точечного стока определяется по формуле:

$$v = \frac{L}{4\pi r^2} \quad (3)$$

где:

v - скорость воздуха в заданной точке, м/с;

L - расход воздуха проходящего через заданную точку в пространстве м³/с;

$4\pi R^2=F$ - площадь сферы радиусом R , м

Исходя из вышеизложенного, а также анализируя формулу (3) становится ясно, что для увеличения скорости удаляемого воздуха необходимо увеличивать расход удаляемого воздуха, либо уменьшить площадь сферы, по которой происходит подтекание воздуха. Достигнуть этого можно формируя ограничивающую плоскость, которая препятствовала бы подтеканию воздуха из задней полусферы относительно всасывающего отверстия. Подобное ограничения подтекания воздуха в инженерной практике, в силу особенностей, наиболее часто встречающихся при проектировании на объектах различного назначения при устройстве вытяжной общеобменной вентиляции, является вытяжка, встроенная в строительные конструкции.

Примером таких конструкций могут служить вытяжные решетки и вентиляторы, установленные в одной плоскости со стеной либо потолком (рисунок 16). Подобное ограничение спектра всасывания распространено повсеместно в гражданском строительстве ввиду особенностей размещения вытяжных устройств в помещениях будь то решетки, диффузоры либо иные вытяжные устройства. В этом случае размещая вытяжное отверстие в стене происходит ограничивание всасывающего потока плоскостью ограждающей конструкции в которое встроено вытяжное приемное устройство.

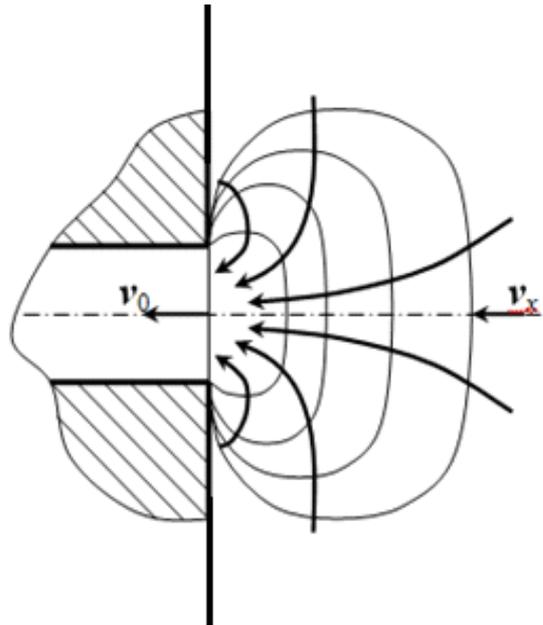


Рисунок 16-Схема установки вытяжного устройства
в строительные конструкции

В случае ограничения плоскостью спектра всасывания происходит отсекание части сферы, подтекание воздуха происходит из полусферы, а формула (3) принимает вид.

$$v = 0,12 * \left(\frac{d_0}{r}\right)^2 \quad (4)$$

Данный принцип не применим, однако при использовании локальной вытяжной вентиляции при плазменной резке металлов на станках, ввиду невозможности создать такую ограничивающую плоскость из материала под плоскостью стола, а также ввиду постоянной динамики процесса резки, перемещения плазменного резака, а, следовательно, и перемещения места образования вредных веществ.

Одним из путей ограничения спектра всасывания и повышения потенциала всасывающих течений путем отсекающего потока может служить раздача ограничивающего воздушного потока в плоскости перпендикулярной оси всасывающего потока (рисунок 17).

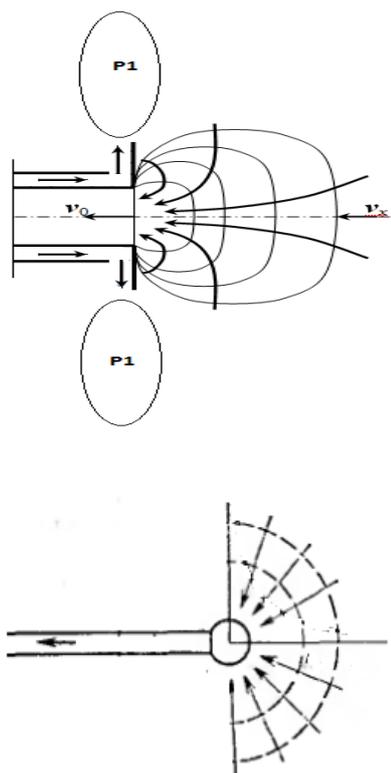


Рисунок 17- Схема организации раздача ограничивающего воздушного потока в плоскости перпендикулярной оси всасывающего потока.

При раздаче воздушного потока подобным образом создается зона повышенного давления, формируемая потоком истекающего воздуха в плоскости близкой, перпендикулярно оси всасывания при этом формируется подобие отсекающей плоскости. Применение такой схемы возможно при организации локальной вытяжной вентиляции при плазменной резке металлов, однако в литературных источниках описание подобных решений отсутствует.

Таким образом, следует, что вытяжное устройство следует размещать как можно ближе к месту выделения вредных веществ, однако следует учитывать, что вытяжные столы имеют ограниченное внутреннее пространство, что обусловлено технологией плазменной резки. Размещать вытяжное устройство в этом случае целесообразно на некотором отдалении от плоскости ламелей, что обеспечит технологическую возможность удаления вредных выделений с учетом конструктивных особенностей оборудования, что осложняется конструкцией столов для плазменной резки, высотой ламелей и т.д. Высота современных

столов для плазменной резки варьируется от 0,8-1 м, реже 1,2-1,5 м, а высота ламелей от 0,01 м, что также осложняет соблюдение данного правила.

2.1. Выбор вредных производственных факторов при плазменной обработке металлов

Плазменной резке подвергается широкая номенклатура различных металлов, в том числе металлы, которые не могут быть разрезаны при помощи газокислородной резки. Наиболее часто обрабатываемыми металлами при помощи плазменной резки являются сталь и ее сплавы, несколько реже - чугун, алюминий.

От вида и химического состава обрабатываемого металла зависит номенклатура пыли и окислов выделяемых при выполнении работ. При плазменной резке металлов диктующей вредностью является пыль, однако в процессе резки цветных металлов, а также металлов с легирующими добавками также выделяется некоторое количество токсичных аэрозолей. Количество выделяемых аэрозолей не столь существенно в сравнении с количеством выделяемой пыли, однако данный вид вредностей даже в небольшом количестве оказывает пагубное влияние на здоровье рабочего персонала.

Процесс плазменной резки металлов отличается большим количеством пылевыведений, возникающих в процессе производства, что обуславливает запыленность промышленных цехов и помещений токсичной пылью малой дисперсности, особенно при резке цветных металлов и легированных сталей, которые пагубно влияют на организм. Пыль, образующаяся при резке плазмой, имеет крайне малые размеры до 2 мкм. [48]. Скорость витания частиц составляет не более 0,08 м/с, что обуславливает длительное нахождение во взвешенном состоянии в помещении [49]. Помимо размеров пыли и аэрозолей для здоровья рабочих опасность представляет химический состав веществ, содержащихся в легированных сплавах. Широкая номенклатура выделяемых вредных веществ

является канцерогенами, оказывает фиброгенное воздействие [50], пагубно влияет на внутренние органы, в частности на дыхательные пути и легкие.

В процессе резки под воздействием высокотемпературной струи происходит испарение металла из зоны реза его окисление, в том числе и легирующих элементов, а конвективные потоки уносят пыль в зону дыхания. Пыль оседает незначительно, что затрудняет борьбу с ней. Как видно из таблицы на примере легированных сталей с увеличением толщины заготовки пропорционально возрастает количество вредных веществ: оксид хрома, оксид железа, оксид углерода, диоксид азота [51]. Компонентный состав и количество вредных веществ на примере легированной стали указаны в таблице 3.

Таблица 3 - удельные показатели выделения загрязняющих веществ при резке, легированной стали толщиной 5, 10, 20 мм (на длину реза, г/м; на единицу оборудования, г/ч)

Металл	Толщина разрезаемых листов ^{*)} , мм	Наименование и удельные количества выделяемых загрязняющих веществ									
		Сварочный аэрозоль		В том числе				Оксид углерода		Диоксид азота	
		г/м	г/ч	Наименование вещества	г/м	г/ч	г/м	г/ч	г/м	г/ч	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Сталь легированная	5	3,0	990,0	Хрома оксид	0,12	40,0	1,43	429,0	6,3	2075,0	
				Железа оксид	2,88	950,0	-	-	-	-	
	10	5,00	1370	Хрома оксид	0,25	70,0	1,87	467,0	9,5	2610,0	
				Железа оксид	4,75	1300,0	-	-	-	-	
	20	12,00	1582	Хрома оксид	0,80	106,0	2,10	277,0	12,7	1675,0	
				Железа оксид	11,20	1476,0	-	-	-	-	

Под воздействием высокотемпературной струи происходит окисление металла, в том числе и легирующих элементов, а также образуются вредные газы, такие как окислы азота, окись углерода. Данные газы пагубно влияют на

организм, вызывая поражение органов дыхания и крови, пищеварительной системы [52]. Если процесс резки протекает без защитной атмосферы, то в высокотемпературной зоне резки происходит взаимодействие кислорода и азота с образованием оксида азота. Чем выше температура резки, тем больше образуется этого газа. При резке высокоуглеродистой стали могут образовываться также выбросы угарного газа, как продукта неполного горения углерода, входящего в состав, стали.

Помимо вышеуказанных вредностей при плазменной резке сильное пагубное воздействие на организмы рабочих оказывают такие факторы как шум (особенно при плазменно-дуговой резке) в частности интенсивный высокочастотный шум, и радиационно-тепловое воздействие на организм, с интенсивным излучением в оптическом диапазоне.

В ряде случаев при нарушении производственных процессов и технологии выполнения работ используется металл, не очищенный от консервирующих составов, масел или краски. В этих случаях к вредностям, обусловленным технологией производства работ добавляются органические химические соединения.

Стоит отметить также что не только само наличие вышеуказанных вредных производственных факторов влияет на производственную деятельность, но также и их совокупность, и взаимное влияние, так плазменно-дуговая резка металлов характеризуется значительными тепловыделениями ввиду большой температуры плазменной дуги. Таким образом можно выделить еще один существенный недостаток - интенсивное тепловыделение (лучистое и конвективное).

Анализируя совокупность вредных производственных факторов, возникающих при плазменной резке металла очевидна целесообразность максимальной защиты рабочих путем аспирации пыли и аэрозолей, выделяемых при резке с максимальным их удалением локальными вентиляционными системами.

2.2. Численное моделирование аэродинамических процессов при удалении вредностей от мест плазменной резки металлов

Моделирование физического процесса работы вытяжного устройства, реализующего принцип повышения всасывающего воздушного потока, основанного на создании отсекающей радиальной струи, возможно, в результате математического моделирования, а именно системы дифференциальных интегральных уравнений, задаваясь начальными и граничными условиями с заданными параметрами. Для решения поставленной задачи по построению модели вытяжного устройства применялся программный комплекс Solidworks позволяющий решить поставленную задачу [53-56].

Расчетная методика Cosmosfloworks программного комплекса Solidworks с приложением Flowsimulation позволяет проводить математическое моделирование физических процессов с учетом комплекса параметров, таких как ламинарное / турбулентное течение дву и трёхмерное, стационарные и нестационарные течения текучих многокомпонентных сред. При этом учитывая движение этих сред как снаружи, так и внутри твердых тел, с учетом гравитации, пограничного слоя, шероховатости стенок, теплообмена между средами и поверхностями с расчетом теплопередачи (сопряженного теплообмена) основываясь на современных достижениях в области газодинамики, и гидродинамики, что позволяет решать широкий спектр аэродинамических задач.

Программный комплекс Solidworks позволяет задавать требуемые граничные параметры, тепловые потоки, температуру, могут быть заданы поверхностные источники тепла на поверхности твердых тел, радиационные потоки тепла.

Представленная задача по моделированию процесса удаления вредностей от источника плазменной резки решается с помощью уравнений Навье – Стокса и неразрывности, замкнутые при помощи k-ε модели турбулентности в которой

записываются два дополнительных уравнения для расчета кинетической энергии турбулентности - k и скорости диссипации кинетической энергии - ϵ . [57,58]

Эта система уравнений сохранения массы, импульса и энергии нестационарного пространственного течения имеет следующий вид в рамках подхода Эйлера в декартовой системе координат, вращающейся с угловой скоростью Ω вокруг оси, проходящей через ее начало [59]:

$$\frac{dp}{dt} + \frac{dp}{dxk} (p * uk) = 0 \quad (5)$$

$$\frac{d(p * ui)}{dt} + \frac{dp}{dxk} (p * uk * ui - \tau ik) + \frac{\dots}{dxi} = Si \quad (6)$$

$$\frac{d(p * E)}{dt} + \frac{dp}{dxk} ((\rho * E + P)uk + qk - \tau ik * ui) = Si * uk + Qн \quad (7)$$

где:

t – время, с;

u – скорость текучей среды, м/с;

ρ – плотность текучей среды, кг/м³;

P – давление текучей среды, Па;

S_i – внешние массовые силы, которые действуют на единичную массу текучей среды, а именно:

$S_{iporous}$ – действие сопротивления пористого тела;

$S_{igravity}$ – действие гравитации;

$S_{irotation}$ – действие вращения системы координат, т.е. $S_i = S_{iporous} +$

$S_{igravity} + S_{irotation}$;

E – полная энергия единичной массы текучей среды, Дж;

Q_n – тепло, выделяемое тепловым источником в единичном объеме текучей среды, Вт · ч;

τ_i – тензор вязких сдвиговых напряжений;

q_i – диффузионный тепловой поток, Вт/м².

Для Ньютонских текучих сред тензор вязкого сдвигового напряжения определяется следующим образом:

$$\tau_{ij} = \mu * \left\{ \frac{du_i}{dx_j} + \frac{du_j}{dx_i} - \frac{2du_i}{3dx_j} \delta_{ij} \right\} - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (8)$$

где:

$\mu_i = \mu_i + \mu_i * \mu_j$ – коэффициент динамической вязкости;

C – коэффициент турбулентной вязкости;

δ_{ij} – дельта-функция Кронекера;

k – кинетическая энергия турбулентности.

В соответствии с $k - \varepsilon$ моделью турбулентности, определяется через величины кинетической энергии турбулентности k и диссипации этой энергии ε

$$\mu = f \mu \frac{C \mu * \rho * k^2}{\varepsilon} \quad (9)$$

Кинетическая энергия турбулентности k и диссипации этой энергии ε , определяются в результате решения следующих двух уравнений

$$\frac{d(p * k)}{dt} + \frac{d}{dxk} (p * uk * k) = \frac{d}{dxk} \left\{ \left(\mu_i + \frac{\mu_i}{\sigma_k} \right) \frac{dk}{dxk} \right\} + S_k \quad (10)$$

$$\frac{d(p * \varepsilon)}{dt} + \frac{d}{dxk} (p * uk * \varepsilon) = \frac{d}{dxk} \left\{ \left(\mu_i + \frac{\mu_i}{\sigma_k} \right) \frac{d\varepsilon}{dxk} \right\} + S_i \quad (11)$$

где:

$$S_k = \tau_{IJ}^R \frac{du_i}{dx_i} - \rho * \varepsilon + \mu_i P_H \quad (12)$$

$$S_k = C * \varepsilon_i \frac{\varepsilon}{k} \left(f_i * \tau_{IJ}^R * \frac{du_i}{dx_j} + \mu_i C_B P_B \right) - C_{iz} f_z \frac{\rho * \varepsilon^2}{k} \quad (13)$$

$$\tau_{IJ}^R = \mu_i \left(\frac{du_i}{dx_j} + \frac{du_j}{dx_i} - \frac{du_j}{dx_i} * \delta_{ij} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (14)$$

$$P_B = - \frac{g_i}{\sigma_B} \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dx_i} \quad (15)$$

где:

g_i – составляющая гравитационного ускорения в координатном направлении χ_i ,

$\sigma_B = 0,9$, $C_B = 1$ при $P_B > 0$ и $C_B = 0$ при $P_B < 0$

Ламинарные и турбулентные слои пограничного течения около поверхности твердого тела, а также переход ламинарного пограничного слоя в турбулентный и наоборот, моделируется с высокой точностью с помощью модифицированных универсальных пристеночных функций.

2.3. Постановка задач и условия ограничения модели

Для подтверждения предположения о возможности усовершенствования способа удаления вредностей при плазменной обработке металлов и повышению эффективности работы систем локальной вытяжной вентиляции за счет вытяжного устройства, реализующего техническое решение, при котором формируется ограничивающий радиальный поток, была создана цифровая модель коаксиального отсоса с торцевой раздачей ограничивающего потока с использованием программного комплекса Flow simulation [60-62]. Модель состоит из двух труб, установленных соосно при этом трубопроводы расположены таким образом, чтобы образовывать межтрубное пространство.

Всасывающий поток, организованный побудителем, движется по внутренней трубе. В межтрубном пространстве движется в противоточном направлении раздающий поток. Раздающий поток по истечении из отверстия формирует ограничивающую зону. Воздушный поток отражается от диффузора-ограничителя и концентрически распространяется в пространство.

Граничными условиями для моделирования были приняты следующие данные: атмосферное давление - $P_a=101325$ Па, температура воздуха- $t_n=20$ С °, начальные параметры модели - расход воздуха проходящего в межтрубном пространстве и во внутренней трубе - $Q_{vy}=1000$ м³/ч, длина участка трубы внутренней $l_{vy}=500$ мм, внешней $l_{vn}=490$ мм. В первом приближении задавался размер диффузора-ограничителя диаметром $D_d=100$ мм с последующим увеличением на 100 мм с итоговым значением 200 мм. Диаметры внутреннего D_v

и наружного D_n трубопровода составили 100 мм и 115 мм соответственно. Угол диффузора ограничителя относительно оси трубопроводов - 90° .

2.4. Результаты исследования и их анализ

На начальном этапе моделирования была выполнена модель, соответствующая вышеуказанным параметрам, при этом был получен минимальный диаметр диффузора ограничителя, позволяющий при заданном размере отверстия для истечения воздуха добиться устойчивых показателей потока. Кроме того, была выполнена визуализация потоков при различных заданных параметрах для получения показателей осевых скоростей с различными расходами воздуха, а также для определения параметров модели, при которых достигается устойчивость течения.

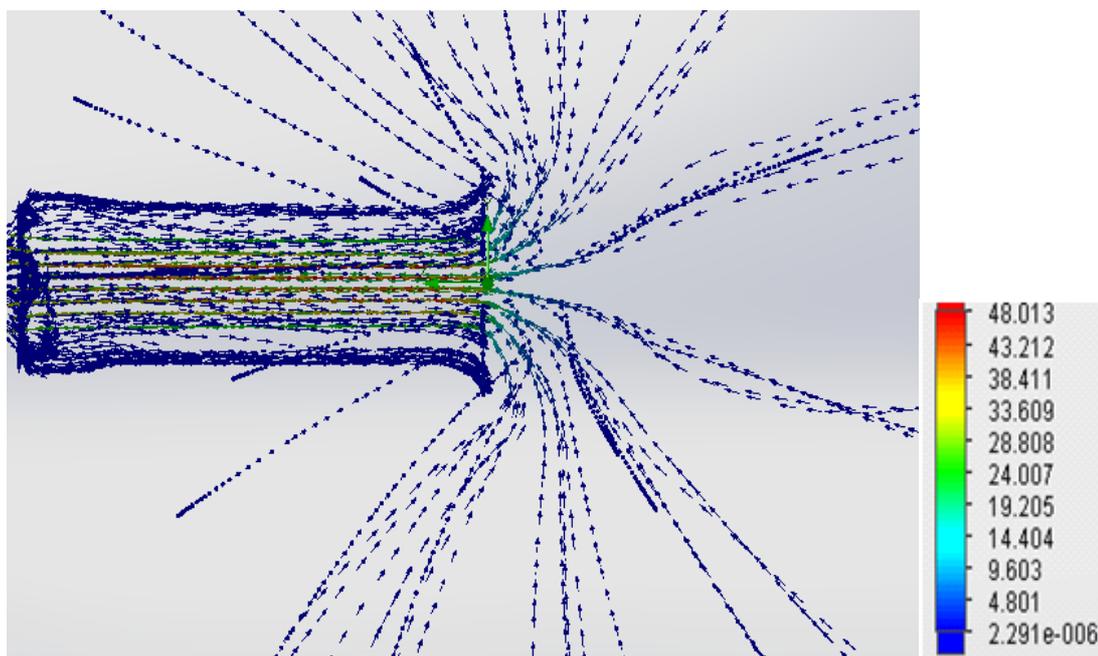


Рисунок 18 - Визуализация траектории потоков при удалении воздуха
(расход $Q=1000 \text{ м}^3/\text{ч}$)

По результатам моделирования была получена визуализация воздушных течений, а также график зависимости падения скорости воздуха от удаленности

от всасывающего отверстия. На рисунке 18 показаны течения воздуха, образованные при работе вытяжного устройства с заданным расходом $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$.

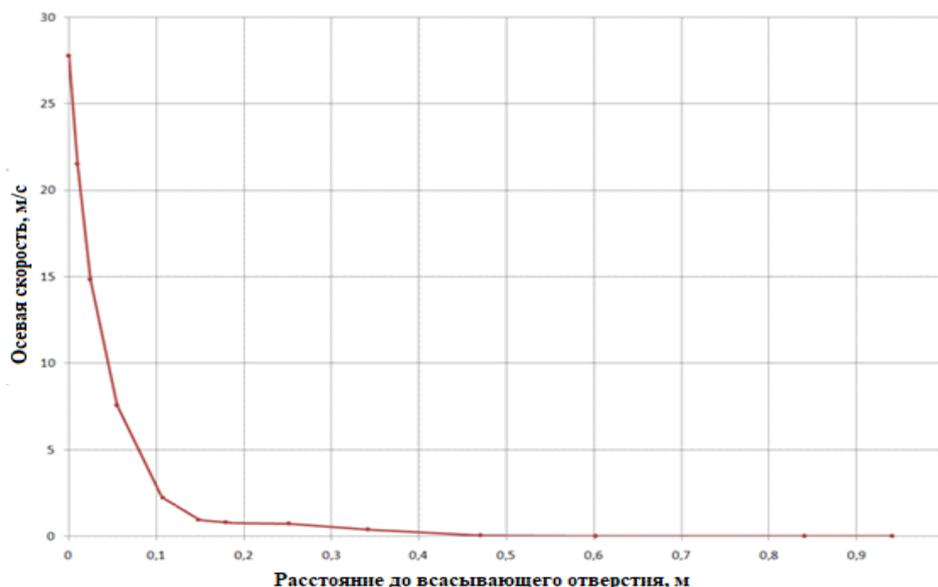


Рисунок 19- Зависимость падения скорости воздуха от удаленности от всасывающего отверстия

Подтекание воздушных потоков, происходит из всей сферы к вытяжному патрубку, что соответствует ранее изложенным утверждениям, в настоящей главе и изображенным на рисунке 17. При этом осевая скорость на расстоянии 10-15 см от всасывающего патрубка составила 0,8-1,2 м/с, на расстоянии 30 см - 0,4-0,6 м/с, на расстоянии 45 см скорость воздуха составила 0,1 м/с. Зависимость падения скорости от удаления от всасывающего патрубка представлена на рисунке 19.

2.5. Влияние геометрических параметров коаксиального отсоса на характеристики потоков (влияние размеров отверстия для истечения ограничивающего потока)

Для определения расстояний, при которых формируется устойчивый ограничивающий поток, последовательно задавались значения расстояния

между внешней трубой и диффузором-ограничителем со смещением к стенке диффузора.

Начальным значением было принято расстояние равное $l_1 = 35$ мм. Заданный расход воздуха оставался без изменений, при этом в модели был задан поток воздуха, истекающий из межтрубного пространства также равный $Q_{4\text{вн}} = 1000$ м³/ч.

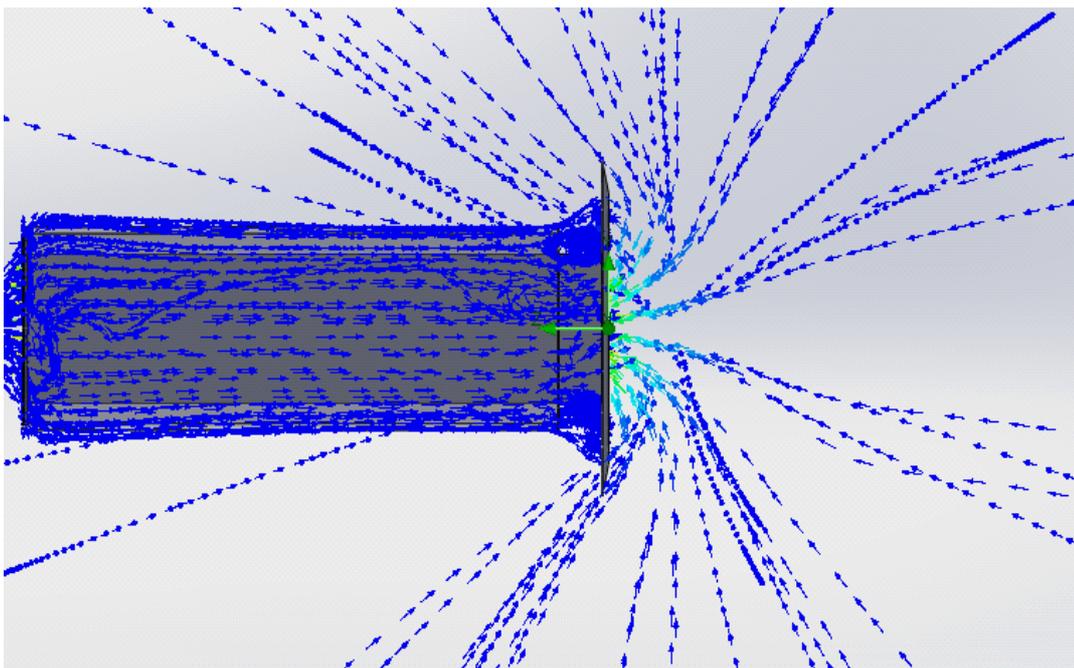


Рисунок 20- Визуализация траектории потоков при $l_1 = 35$ мм

При заданных параметрах визуализация течений по сравнению с моделью, изображенной на рисунке 5 существенных отличий в спектре всасывания не имеет. При заданном расстоянии $l_1 = 35$ мм формирование раздающего потока не происходит, при этом в зоне сформированной наружной трубой, внутренней трубой и диффузором образовались зоны локальной циркуляции.

В следующем приближении расстояние задавалось равным $l_1 = 20$ мм, прочие параметры оставались без изменений. При заданных параметрах было достигнуто устойчивое формирование ограничивающего потока, имеющего радиально форму с тенденцией к концентрическому раскрытию. Как видно из сравнения иллюстраций течений на рисунках 18,20,21 подтекание потока

воздуха из тыльной полусферы не происходит за счет сформированного ограничивающего потока.

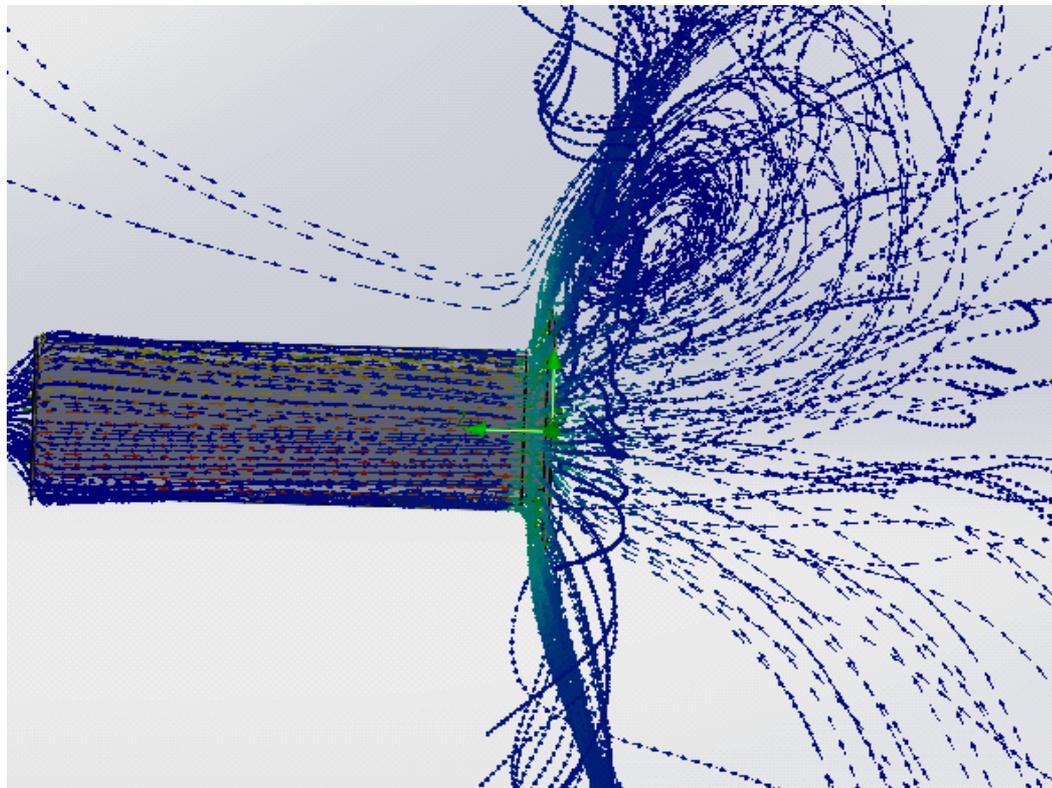


Рисунок 21 - Визуализация траектории потоков при $l_1=20$ мм

Таким образом, при заданном расстоянии $l_1=20$ мм была получена ширина раздающего отверстия, при которой формируется устойчивый ограничивающий поток, данное значение было принято в дальнейшем моделировании вытяжного устройства с целью выяснения оптимального диапазона регулирования параметров истекающего потока.

В следующем приближении расстояние задавалось равным $l_1=15$ мм, прочие параметры оставались без изменений.

При заданных параметрах было достигнуто формирование ограничивающего потока имеющего цилиндрическую форму с тенденцией к схлопыванию потока с последующим увлечением потоком, проходящим через вытяжное отверстие. Как видно из сравнения иллюстраций течений на рисунке 21 и рисунке 22 подтекание потока воздуха из тыльной полусферы не происходит за счет действия ограничивающего потока.

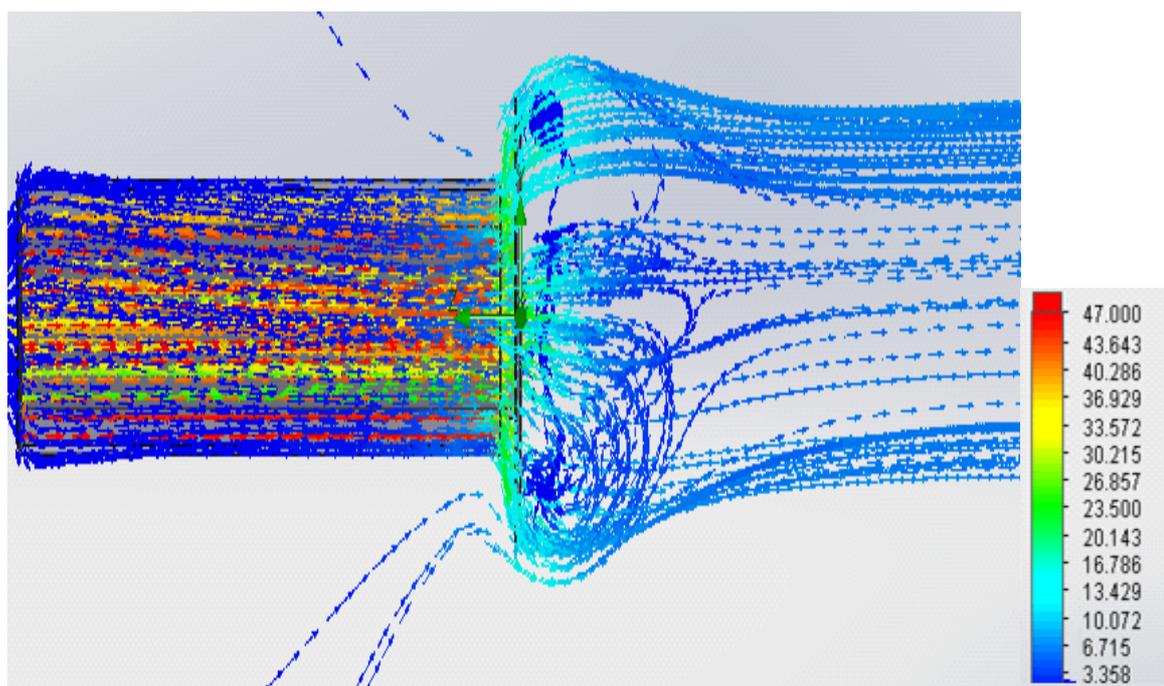


Рисунок 22 - Визуализация траектории потоков при $l_1=15\text{мм}$

В сравнении с картиной потока проиллюстрированной на рисунке 21 раскрытие потока имеет меньший радиус, энергии потока недостаточно для формирования, происходит подсос раздающего потока, при этом в межпоточном пространстве в периферийной зоне по радиусу диффузора ограничителя образованы зоны локальной циркуляции. Таким образом при заданном расстоянии $l_1=15\text{мм}$ была получена картина течений при которой достигается ограничение подтекания потоков из задней полусферы, в тоже время во фронтальной зоне устойчивость потоков относительно друг-друга не достигается. В результате получены геометрические параметры устройства, при которых получены удовлетворительные результаты взаимодействия, всасывающего и радиально направленного ограничивающего потока при которых формируется ограничивающий радиально направленный распределяющий поток и достигается улучшение условий формирования всасывающего потока, спектр всасывания и дальнобойность всасывающего течения [63,64].

2.6. Выводы по главе 2

1. Анализ технологии плазменной резки металлов и вредных производственных факторов при плазменной обработке металлов показал, что плазменная резка металлов требует решений для локализации и удаления вредностей совокупно учитывая технологический процесс автоматизированной плазменной резки, выбросы при которой пагубно влияют на условия труда, при этом значительную роль играет режим обработки металла.
2. Анализ технологических процессов при плазменной резке показал, что значительная доля производственных операций, при которых, происходит образование вредных выделений, происходит в нижней плоскости реза металлозаготовки.
3. Разработаны модели коаксиального всасывающего устройства для локальной вытяжной вентиляции. Определены геометрические параметры, оказывающие влияние на эффективность работы устройства.
4. Определены теоретические значения геометрических параметров, при которых достигается улучшение условий действия всасывающего потока. Получены диапазоны эффективной работы устройства.

ГЛАВА 3.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОАКСИАЛЬНОГО ОТСОСА

Для исследования динамических характеристик коаксиального отсоса были созданы модели позволяющие определить влияние изменения угла раскрытия кромки диффузора - ограничителя на устойчивость ограничивающего радиального потока и его взаимодействие со всасывающим потоком, определить влияние соотношения расходов между раздающим и всасывающим потоками на устойчивость ограничивающего и всасывающего потоков и по полученным данным определить диапазон регулирования коаксиального вытяжного устройства при устойчивом взаимодействии потоков с учетом влияния потока неизотермической струи круглого сечения расположенной соосно с центром вытяжного отверстия с параметрами выбросов вредных веществ соответствующим режиму резки заготовки толщиной 50 мм.

Граничными условиями для моделирования были приняты следующие данные: атмосферное давление - $P_a=101325$ Па, температура воздуха- $t_n= 20$ С °.

3.1. Постановка задач и условия ограничения модели исследования влияния угла раскрытия диффузора

С учетом полученных результатов моделирования было принято решение определить границы устойчивого раскрытия ограничивающего потока исходя из условий изменения угла раскрытия кромки диффузора-ограничителя $\alpha=45^\circ$ с последовательным уменьшением расстояния $l_1= 35$ мм, $l_1= 25$ мм, $l_1= 15$ мм.

Начальными граничными условиями для моделирования были приняты следующие данные: атмосферное давление - $P_a=101325$ Па, температура воздуха- $t_n= 20$ С °, расход воздуха проходящего в межтрубном пространстве и во внутренней трубе - $Q_{vy}=1000$ м³/ч, длина участка трубы внутренней $l_{vy}=500$ мм,

внешней $l_{вн} = 490$ мм. Размер диффузора-ограничителя $D_d = 200$. Диаметры внутреннего D_v и наружного D_n трубопровода составили 100 мм и 115 мм соответственно. Угол диффузора ограничителя относительно оси трубопроводов - 90° .

Последовательно была проведена серия расчетов с целью определения аэродинамической структуры приточного и вытяжного потоков воздуха при их совместном действии при различных параметрах раздающего отверстия, а также различных углах раскрытия ограничивающего потока при угле кромки воздуховода распределителя отличном от 90° .

3.2. Результаты исследования влияния геометрических параметров коаксиального отсоса на динамические характеристики потоков (влияние угла раскрытия диффузора)

Аналогично ранее проделанным расчетам задаваясь расстоянием от диффузора $l_1 = 35$ мм была получена визуализация течений. При заданных параметрах отсутствует формирование устойчивого ограничивающего потока. За счет скошенности кромки диффузора-ограничителя истекающий поток имеет малый угол раскрытия за счет чего захватывается вытяжным потоком, из-за чего образуется зона циркуляции. Подобная картина наблюдается при уменьшении расстояния - $l_1 = 25$ мм, однако наблюдается большее раскрытие ограничивающего потока. Наилучшая картина потока была достигнута при $l_1 = 15$ мм (рисунок 25). Раскрытие потока максимальное при этом угол раскрытия близок к углу раскрытия кромки диффузора.

При заданных параметрах отклонения кромки диффузора-ограничителя было установлено, что формирование устойчивого ограничивающего потока не достигается. Как видно из сравнения иллюстраций течений на рисунках 23–25 влияния ограничивающего потока недостаточно для формирования условий, препятствующих захвату раздающего потока всасывающим и как следствие

падает эффективность действия всасывающего потока. Таким образом, оптимальный угол раскрытия диффузора при котором происходит устойчивое формирование ограничивающего потока, а также не наблюдается его подхвата и уноса составляет $\alpha=90^\circ$.

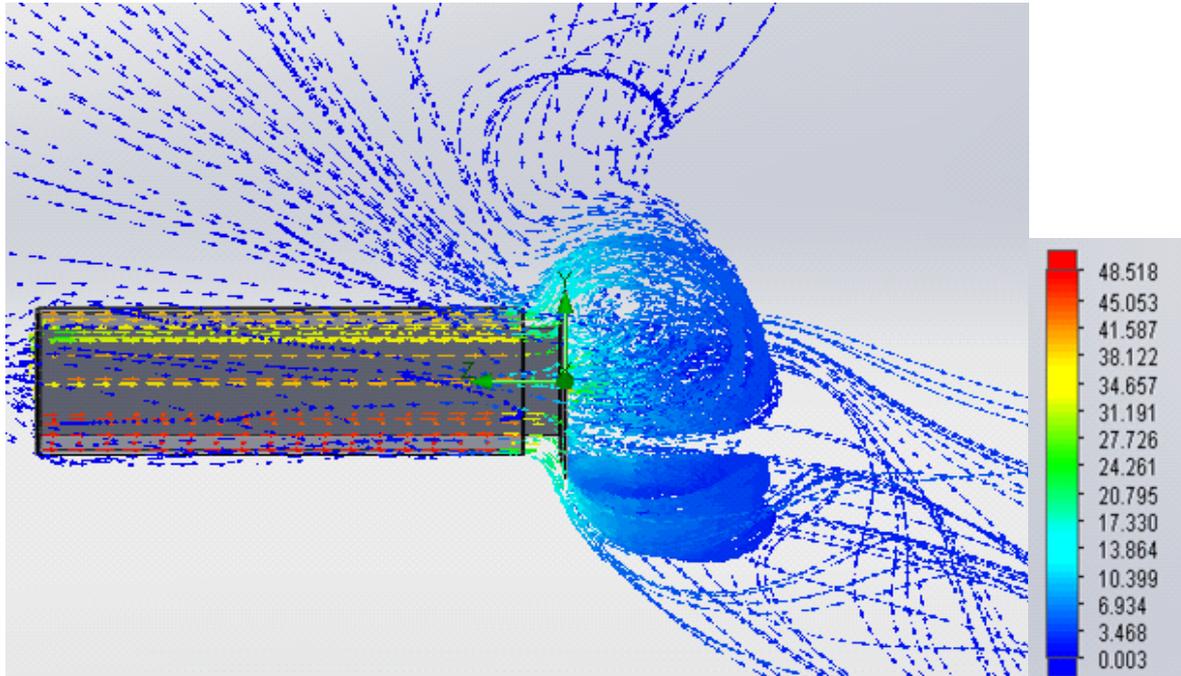


Рисунок 23 - Визуализация траектории потоков при $l_1=35\text{мм}$

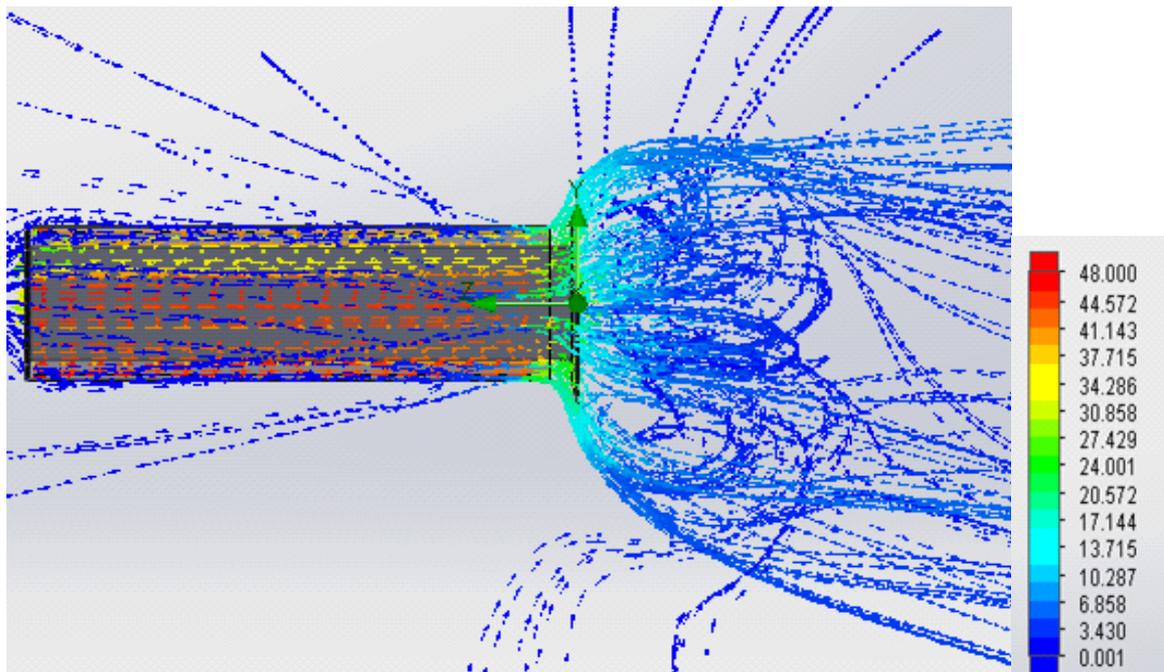


Рисунок 24 – Визуализация траектории потоков при $l_1= 25\text{мм}$

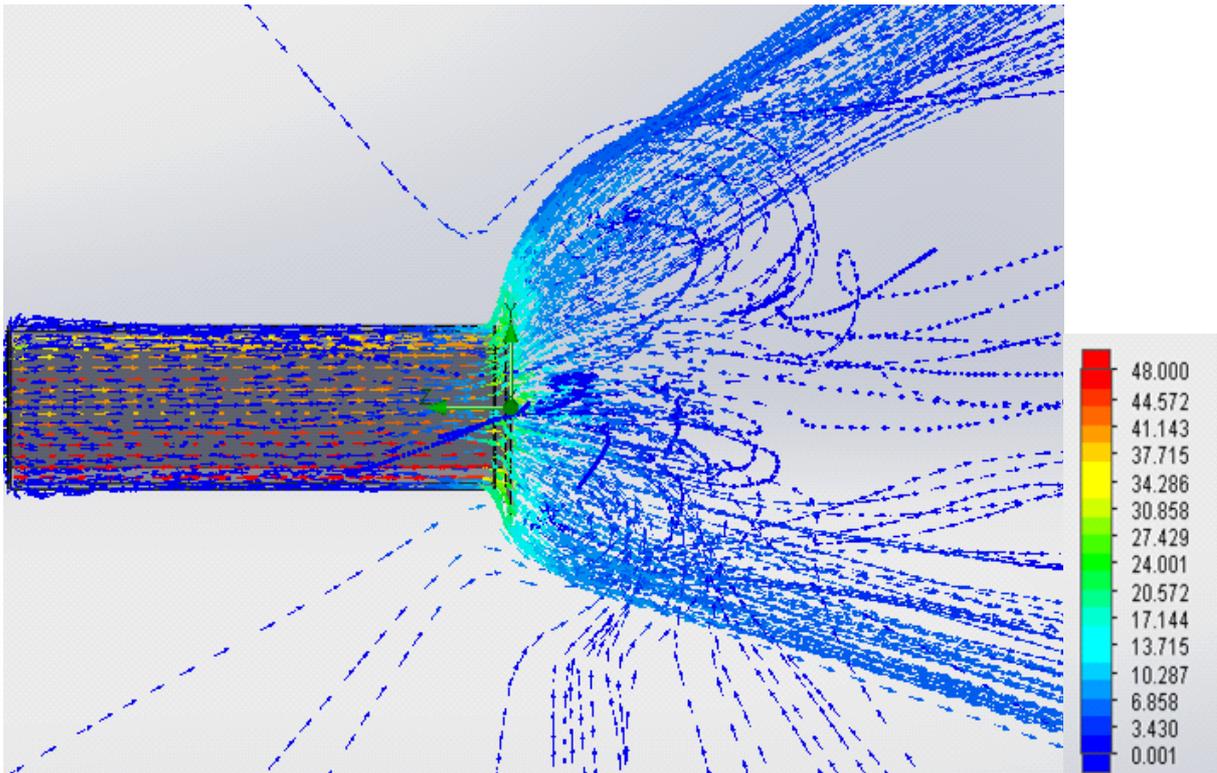


Рисунок 25 - Визуализация траектории потоков при $l_1=15$ мм

При заданных параметрах отклонения кромки диффузора-ограничителя было установлено, что формирование устойчивого ограничивающего потока не достигается. Как видно из сравнения иллюстраций течений на рисунках 23–25 влияния ограничивающего потока недостаточно для формирования условий, препятствующих захвату раздающего потока всасывающим и как следствие падает эффективность действия всасывающего потока. Таким образом, оптимальный угол раскрытия диффузора при котором происходит устойчивое формирование ограничивающего потока, а также не наблюдается его подхвата и уноса составляет $\alpha=90^\circ$.

3.3. Влияние соотношения расходов на формирование потоков

Помимо геометрических показателей существенное влияние на взаимодействие потоков, а также на эффективность формирования устойчивого отсекающего потока оказывает соотношение заданных расходов

и как следствие скоростей потоков. Снижение влияния негативных факторов взаимодействия струй возможно при формировании приточного потока воздуха в виде радиальной веерной струи при определенном соотношении расходов выраженных следующей зависимостью:

$$Q_{B1} = \beta Q_{B2} \quad (16)$$

где:

Q_{B2} - расход воздуха на формирование ограничивающего потока, м³/ч;

Q_{B1} - расход удаляемого воздуха, м³/ч;

β - соотношение расходов для формирования ограничивающего потока и удаляемого потока, при этом для установок с одним побудителем

$$Q_{B2} \leq \beta \leq Q_{B1}$$

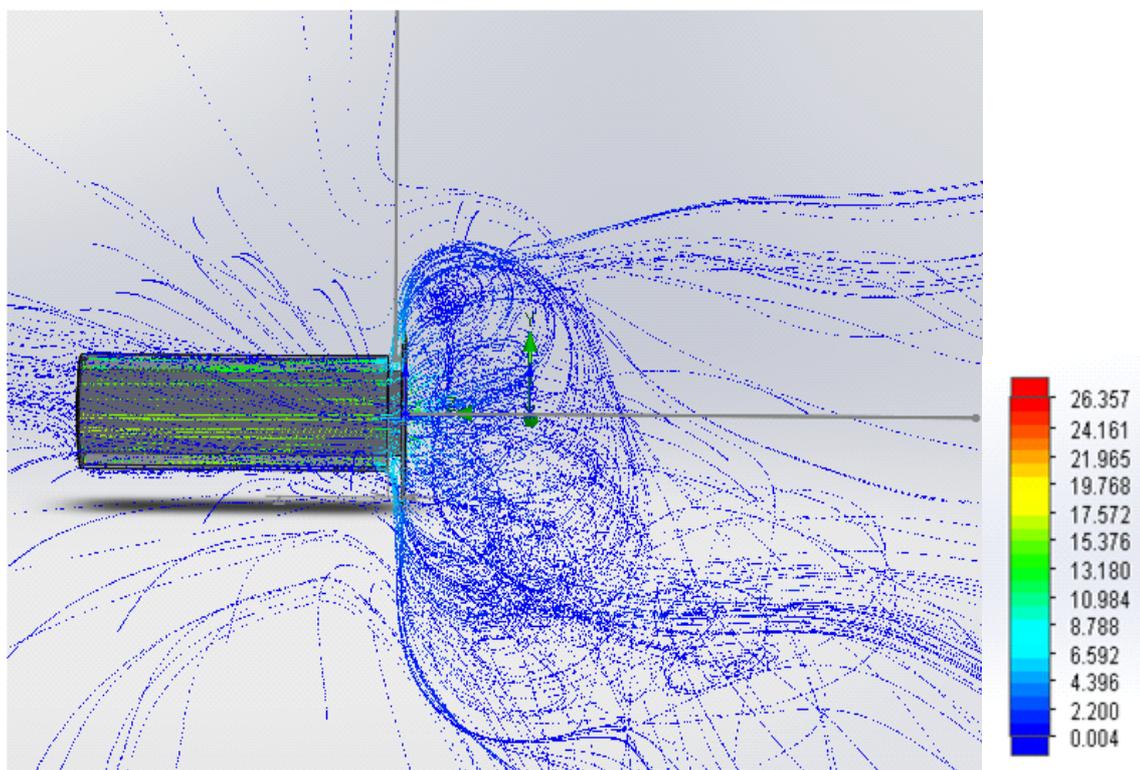


Рисунок 26 – Визуализация траектории потоков при $\beta = 0,6$, $Q_{B2} = 300$ м³/ч, $Q_{B1} = 500$ м³/ч

Результаты моделирования показывают, что для значений соотношения потоков $\beta = 0,8-1$ достигается отсутствие негативных факторов взаимодействия струй при формировании приточного потока воздуха в виде радиальной веерной струи.

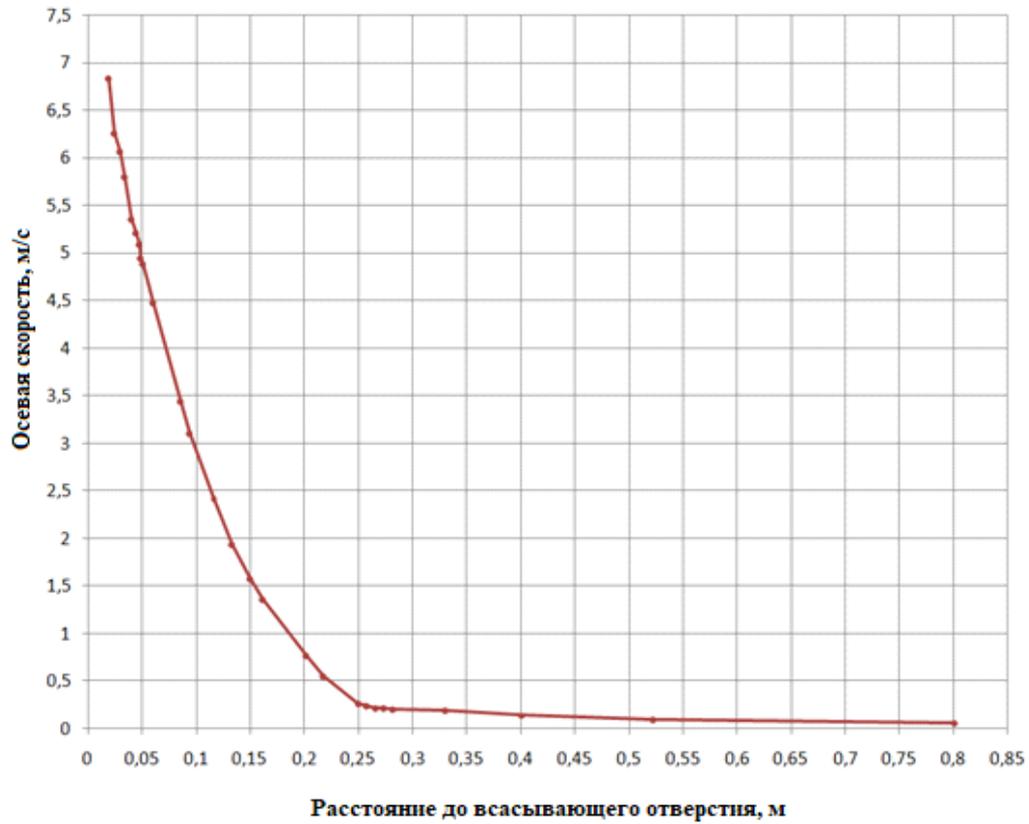


Рисунок 27- Зависимость осевой скорости от удаленности от всасывающего отверстия при $\beta = 0,6$, $Q_{в2} = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$, $Q_{в1} = 500 \text{ м}^3/\text{ч}$

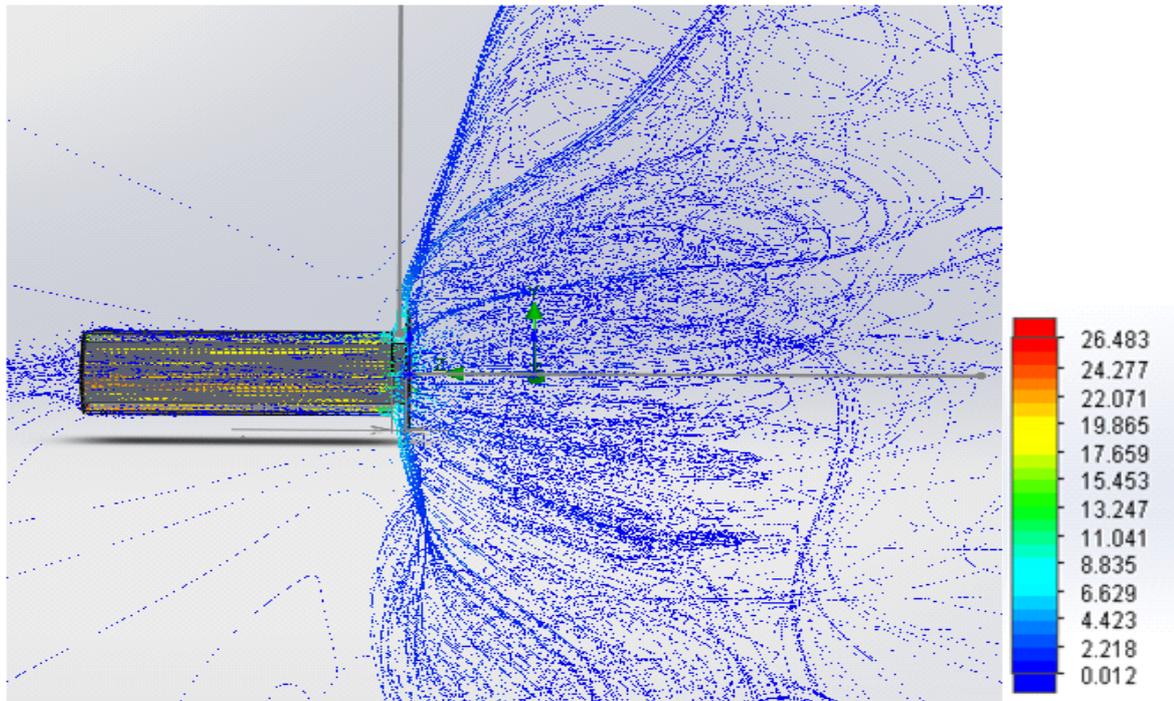


Рисунок 28 – Визуализация траектории потоков при $\beta = 0,8$, $Q_{в2} = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$, $Q_{в1} = 500 \text{ м}^3/\text{ч}$

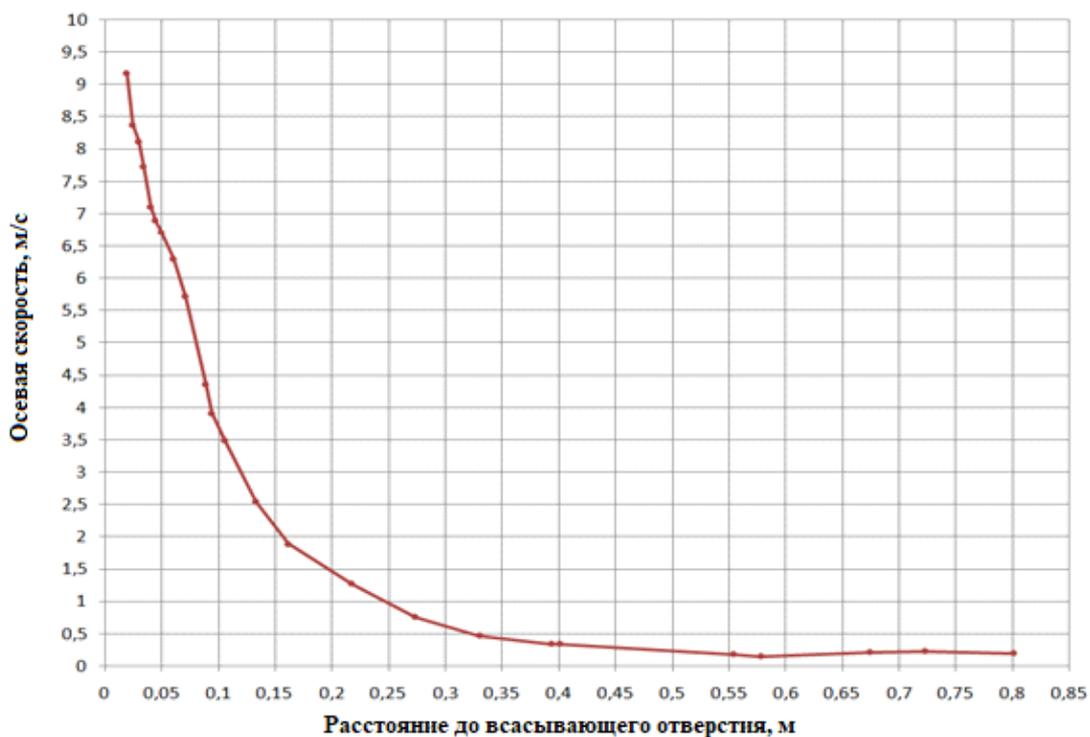


Рисунок 29 - Зависимость осевой скоростей от удаленности от всасывающего отверстия при $\beta=0,8$, $Q_{в2}=400 \text{ м}^3/\text{ч}$, $Q_{в1}=500 \text{ м}^3/\text{ч}$

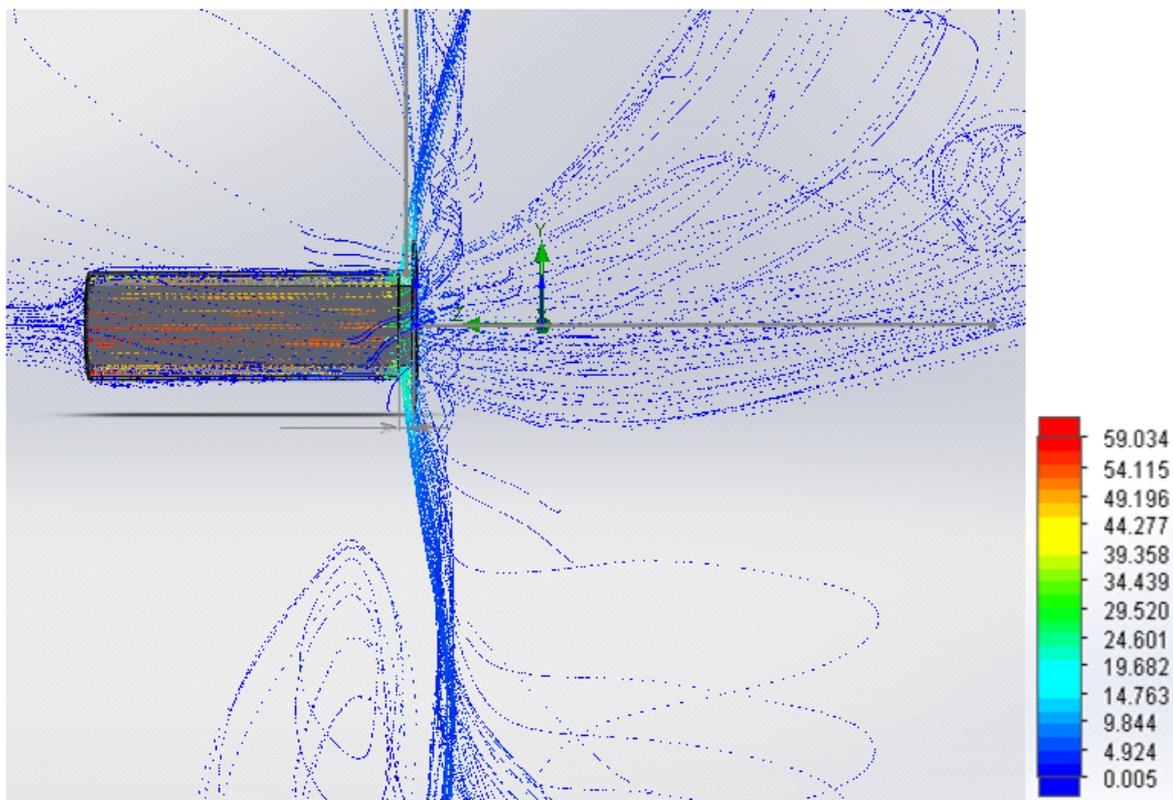


Рисунок 30 – Визуализация траектории потоков при $\beta= 2$, $Q_{в2}= 1000 \text{ м}^3/\text{ч}$, $Q_{в1}= 500 \text{ м}^3/\text{ч}$

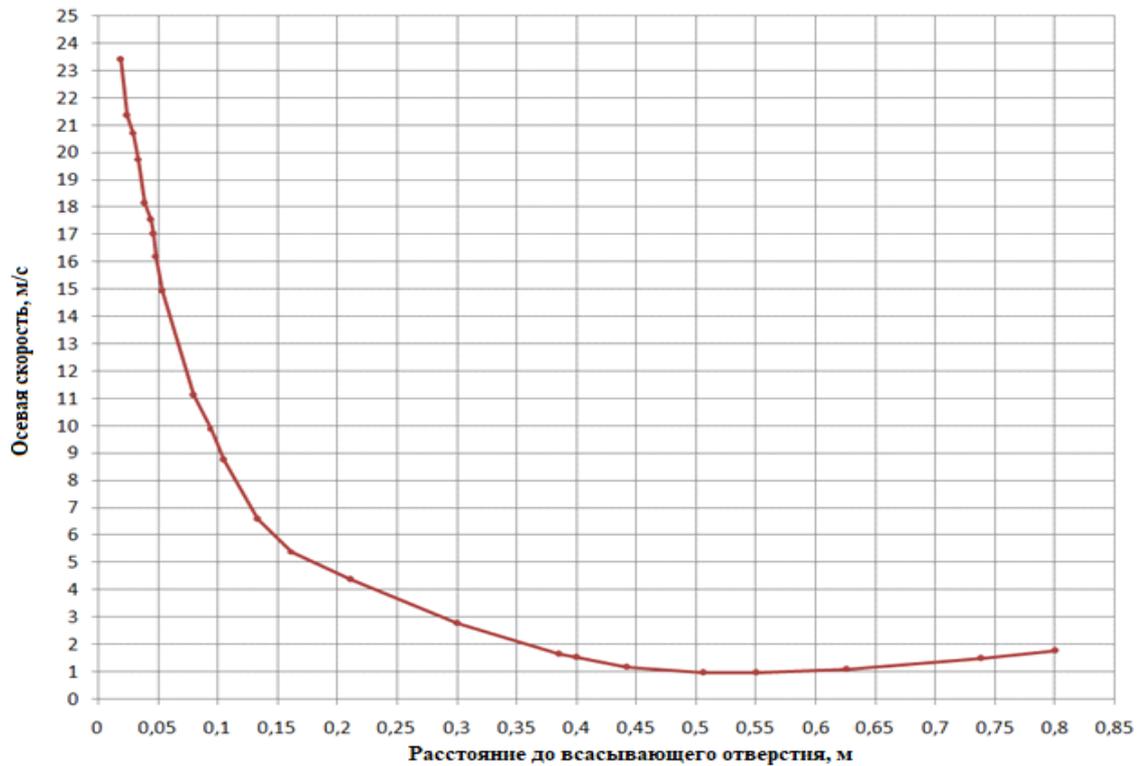


Рисунок 31 - Зависимость осевой скорости от удаленности от всасывающего отверстия при $\beta=2$, $Q_{в2}=1000 \text{ м}^3/\text{ч}$, $Q_{в1}=500 \text{ м}^3/\text{ч}$

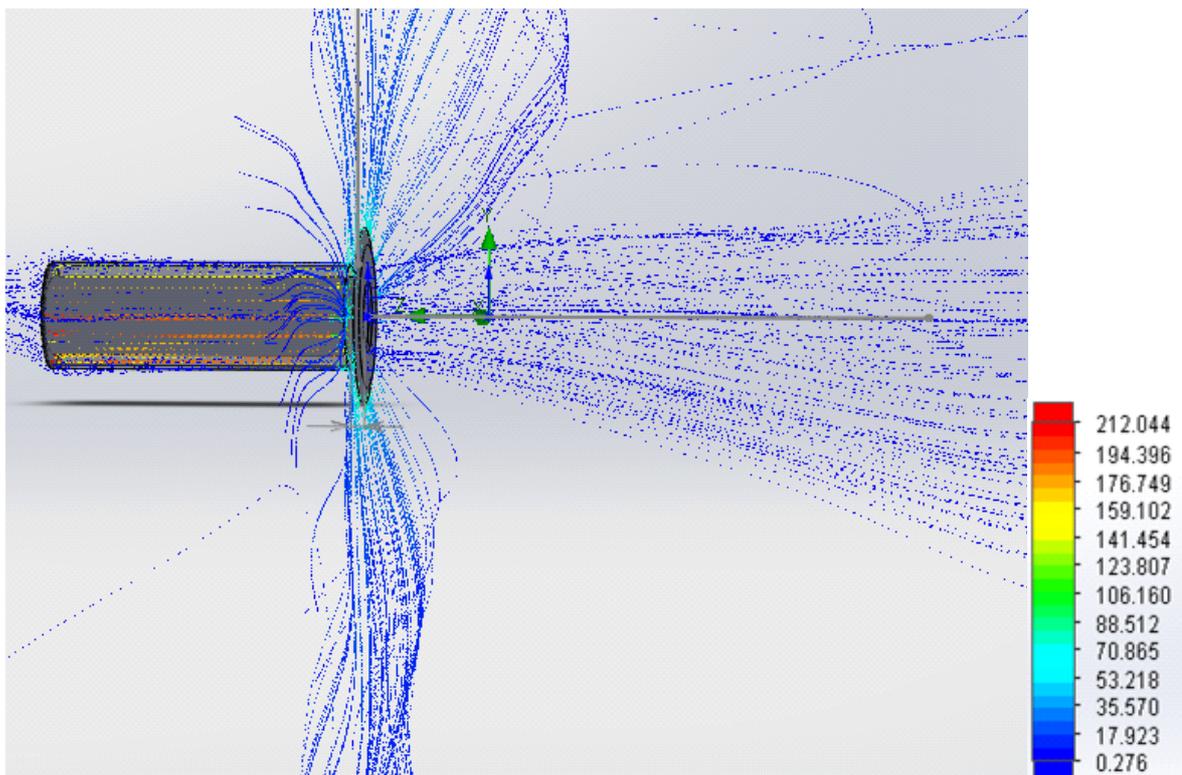


Рисунок 32 - Визуализация траектории потоков при $\beta=7,2$, $Q_{в2}=3600 \text{ м}^3/\text{ч}$, $Q_{в1}=500 \text{ м}^3/\text{ч}$

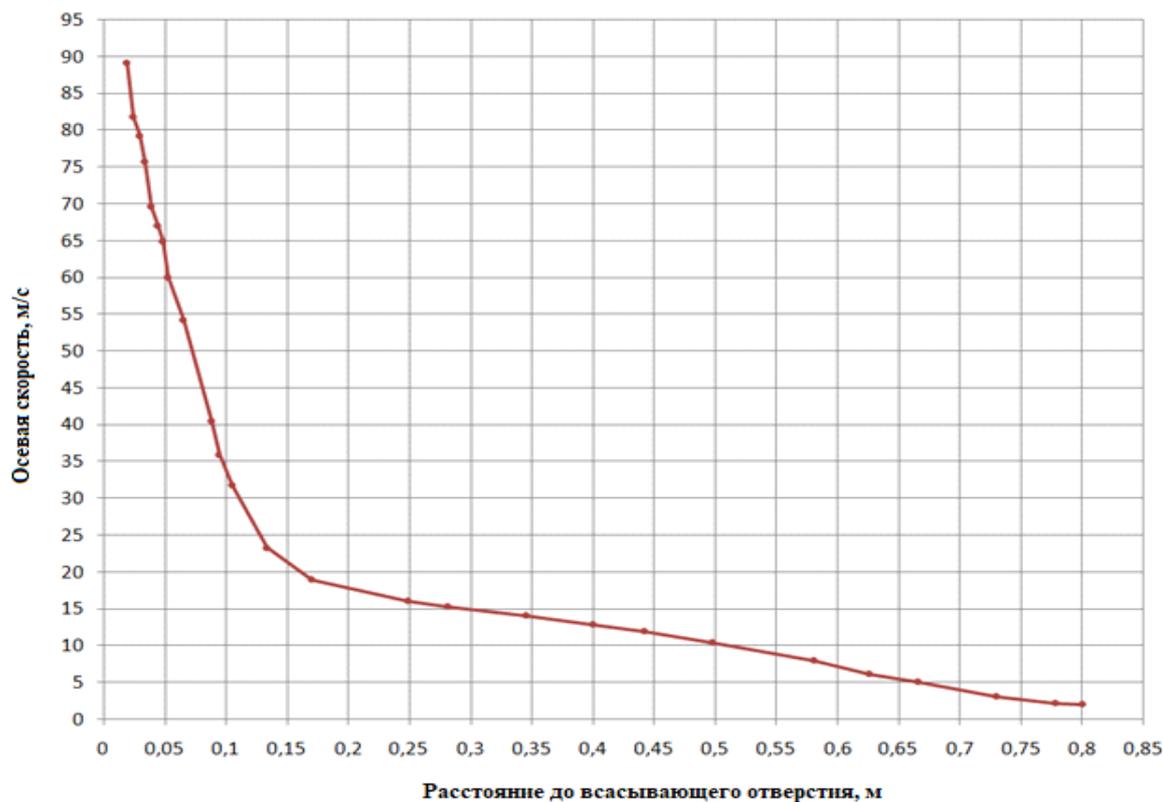


Рисунок 33 - Зависимость осевой скорости от удаленности от всасывающего отверстия при $\beta = 7,2$, $Q_{в2} = 3600 \text{ м}^3/\text{ч}$, $Q_{в1} = 500 \text{ м}^3/\text{ч}$

Также следует отметить, что схемы, при которых значения соотношений потоков при $\beta > 1$, приводит к несколько большей стабилизации потока (рисунок 30, 32), угол раскрытия отсекающего радиального потока приближается к 90° , однако для компоновочных решений установок для локальной вытяжной вентиляции значение β не целесообразно корректировать в сторону увеличения, к примеру, для устройств с одним побудителем на раздающий и всасывающий поток. Таким образом, определен диапазон варьирования соотношений расходов воздуха на формирование ограничивающей струи, расход удаляемого воздуха равный $0,8 \leq \beta \leq 1$. В дальнейшем соотношение расходов принималось как для компоновочного решения с единым побудителем, равнялось $\beta = 1$ и использовались для определения диапазона регулирования воздухозадающего устройства.

3.4. Определение диапазона регулирования при равном соотношении расходов

После выполнения первой и второй серии расчетов была проведена третья серия расчетов с целью определения осевых скоростей, при различных расходах воздуха. За оптимальную модель была принята дополненная модель, изображенная на рисунке 20 со следующими параметрами: расход воздуха, проходящего в межтрубном пространстве и во внутренней трубе - $Q_{\text{вн}} = 1000 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\beta = 1$, с последующим последовательным снижением расхода с шагом $200 \text{ м}^3/\text{ч}$ до значения $Q_{\text{вн}} = 200 \text{ м}^3/\text{ч}$ [65]. Расстояние от наружной трубы до диффузора-ограничителя $l_1 = 20 \text{ мм}$ и принято неизменным. Диаметры внутреннего $D_{\text{в}}$ и наружного $D_{\text{н}}$ трубопровода составили 100 мм и 115 мм соответственно. Угол диффузора ограничителя относительно оси трубопроводов - 90° и также не изменялся.

Также была добавлена модель потока неизотермической струи круглого сечения расположенной соосно с центром вытяжного отверстия. Модель струи была задана следующими параметрами $Q_{\text{вп}} = 0,00083 \text{ кг/с}$, $L_{\text{г}} = 140 \text{ л/с}$, $t_{\text{с}} = 3000 \text{ С}^\circ$, с учетом концентраций оксида углерода, а также оксидов азота, что соответствует режиму плазменной резки стальной заготовки толщиной 50 мм , с соответствующим уровнем вредных выделений диктующей вредности – оксида железа.

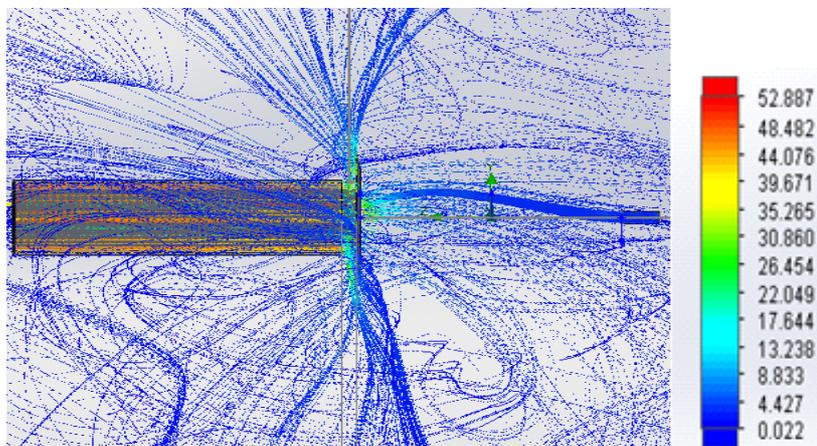


Рисунок 34 – Визуализация траектории потоков при $Q_{\text{вн}} = 1000 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\beta = 1$

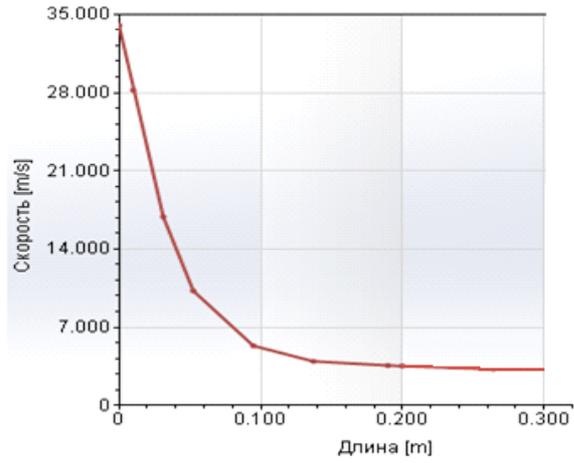


Рисунок 35 - График зависимости осевых скоростей от удаленности от оси всасывающего отверстия при $Q_{vy} = 1000 \text{ м}^3/\text{ч}$

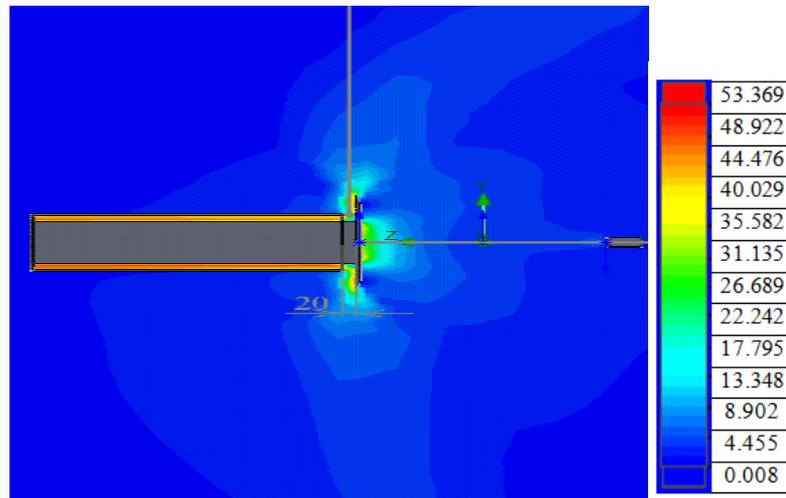


Рисунок 36 - Визуализация поля скоростей в сечении при $Q_{vy} = 1000 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\beta = 1$

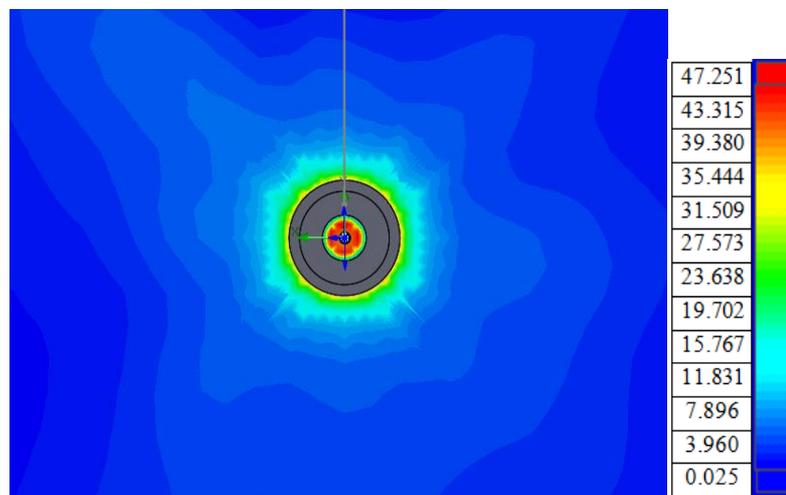


Рисунок 37 - Визуализация поля скоростей (вид спереди) при $Q_{vy} = 1000 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\beta = 1$

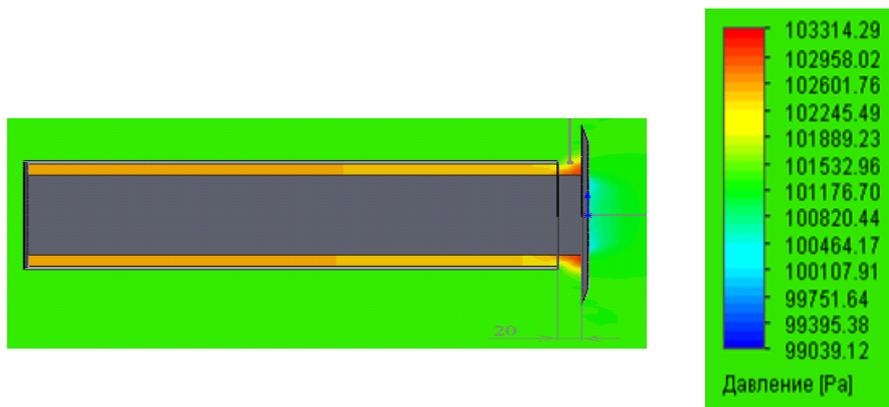


Рисунок 38 - Визуализация распределения давления в сечении при $Q_{vy}=1000 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\beta=1$

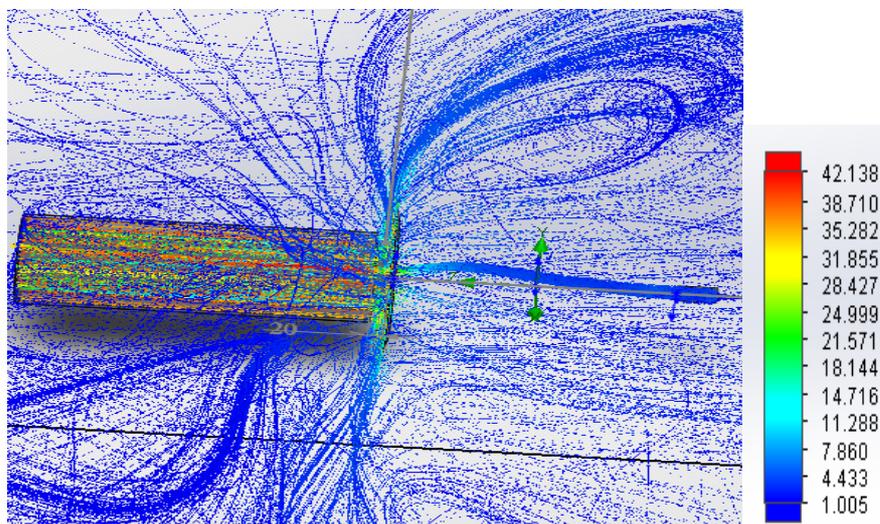


Рисунок 39 - Визуализация траектории потоков при $Q_{vy}=800 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\beta=1$

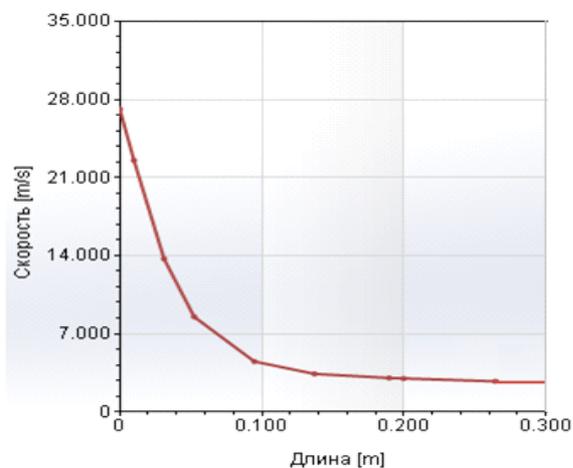


Рисунок 40- График зависимости осевых скоростей от удаленности от оси всасывающего отверстия при $Q_{vy}=800 \text{ м}^3/\text{ч}$

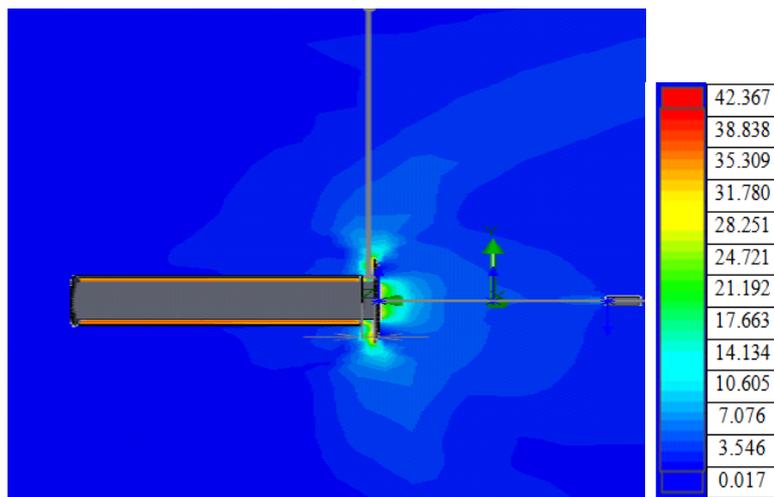


Рисунок 41 - Визуализация поля скоростей в сечении при $Q_{\text{вх}}=800 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\beta=1$

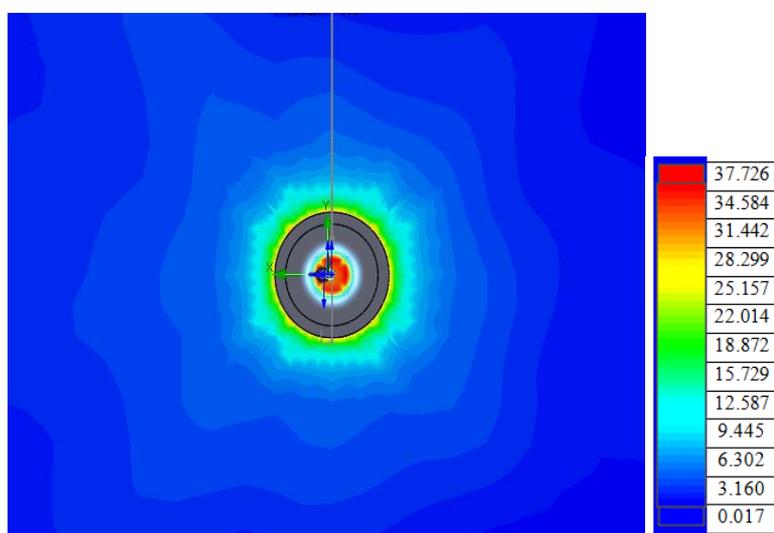


Рисунок 42 - Визуализация поля скоростей (вид спереди) при $Q_{\text{вх}}=800 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\beta=1$

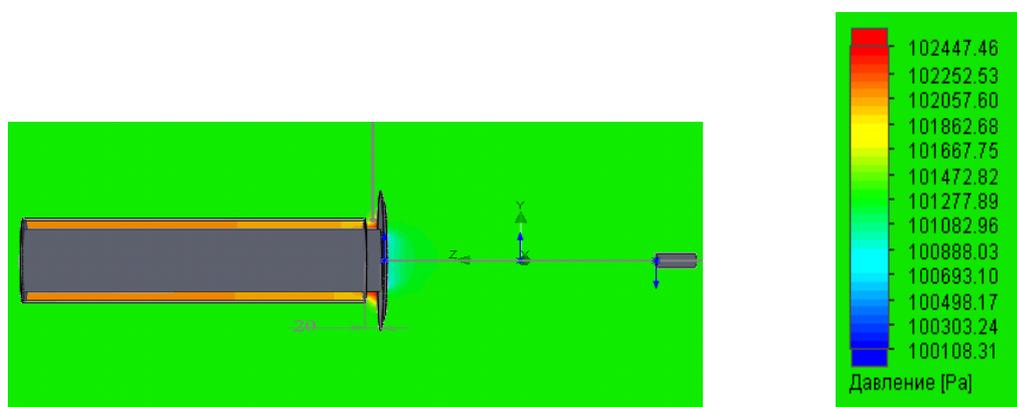


Рисунок 43 - Визуализация распределения давления в сечении
при $Q_{\text{вх}}=800 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\beta=1$

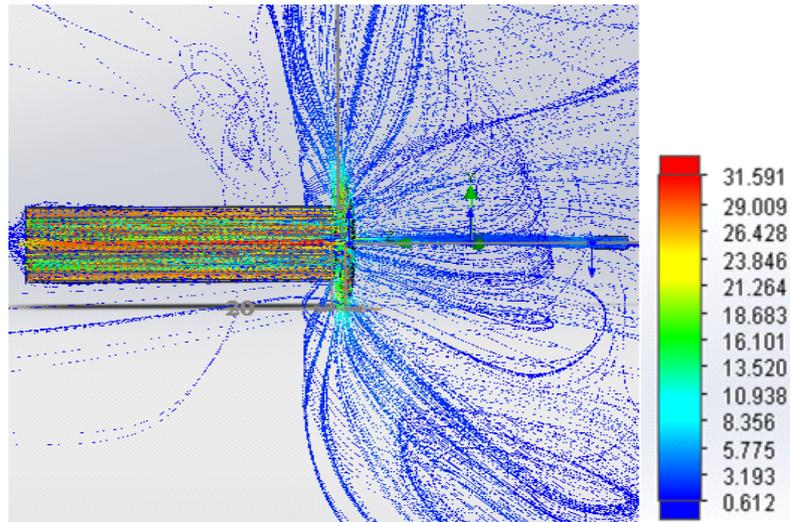


Рисунок 44 - Визуализация траектории потоков при $Q_{\text{вв}}=600 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\beta=1$

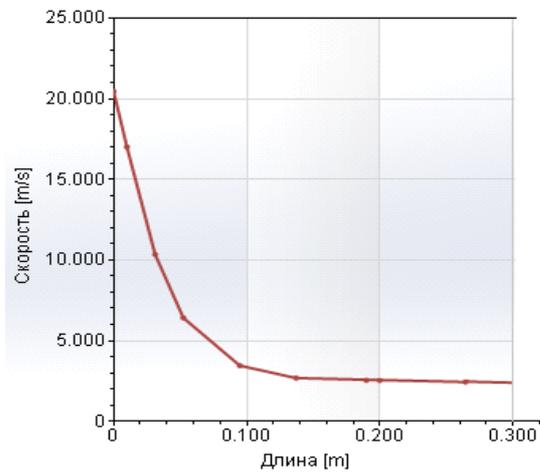


Рисунок 45- График зависимости осевых скоростей от удаленности от оси всасывающего отверстия при $Q_{\text{вв}}=600 \text{ м}^3/\text{ч}$

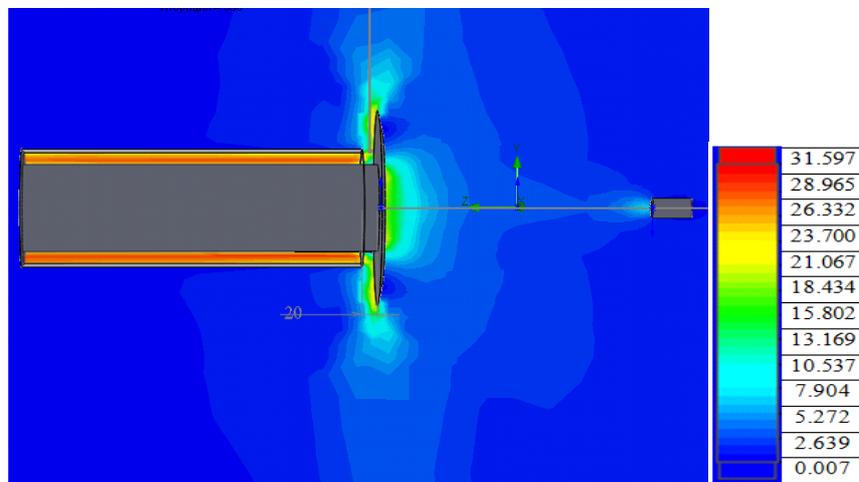


Рисунок 46 - Визуализация поля скоростей в сечении при $Q_{\text{вв}}=600 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\beta=1$

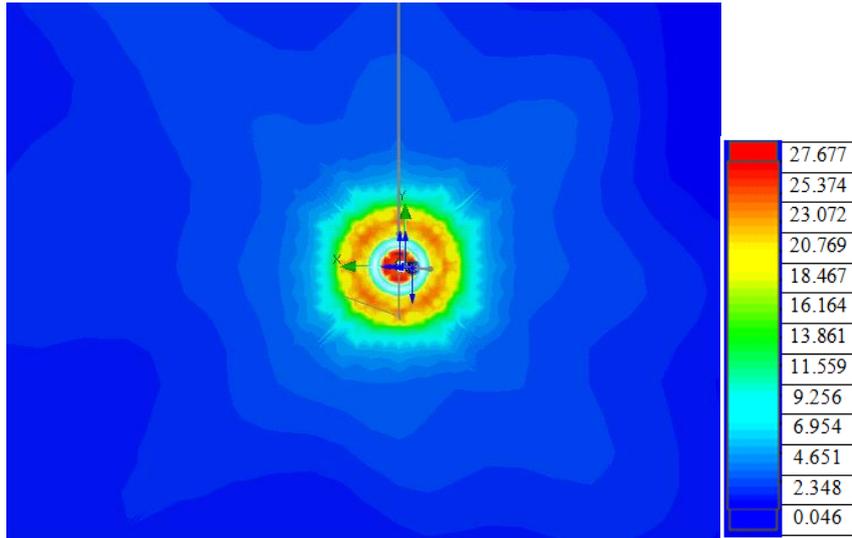


Рисунок 47 - Визуализация поля скоростей (вид спереди) при $Q_{vy}=600 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\beta=1$

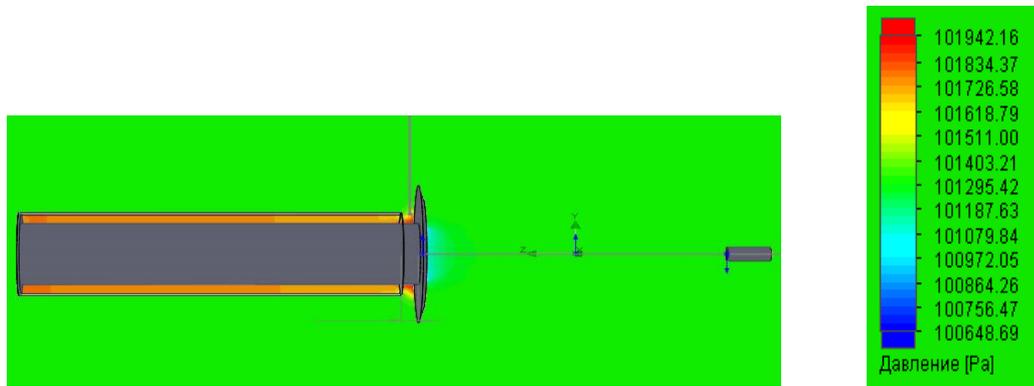


Рисунок 48 - Визуализация распределения давления в сечении
при $Q_{vy}=600 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\beta=1$

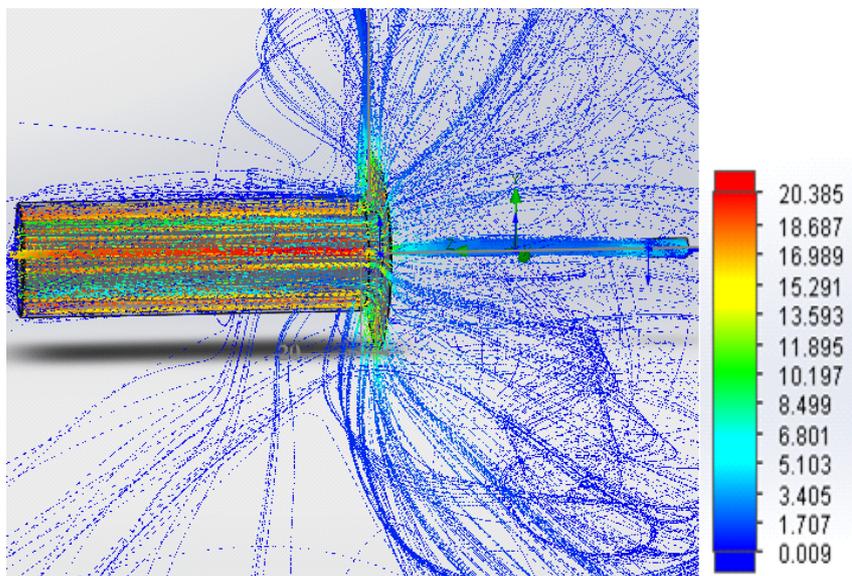


Рисунок 49 - Визуализация траектории потоков при $Q_{vy}=400 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\beta=1$

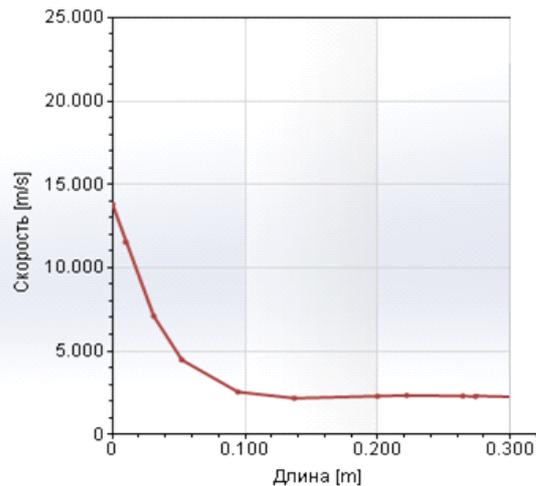


Рисунок 50- График зависимости осевых скоростей от удаленности от оси всасывающего отверстия при $Q_{вy}=400 \text{ м}^3/\text{ч}$

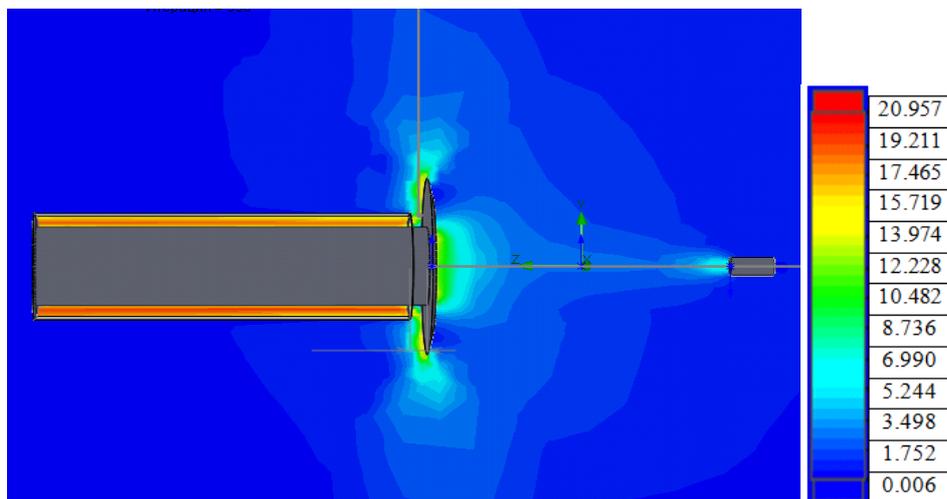


Рисунок 51 - Визуализация поля скоростей в сечении при $Q_{вy}=400 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\beta=1$

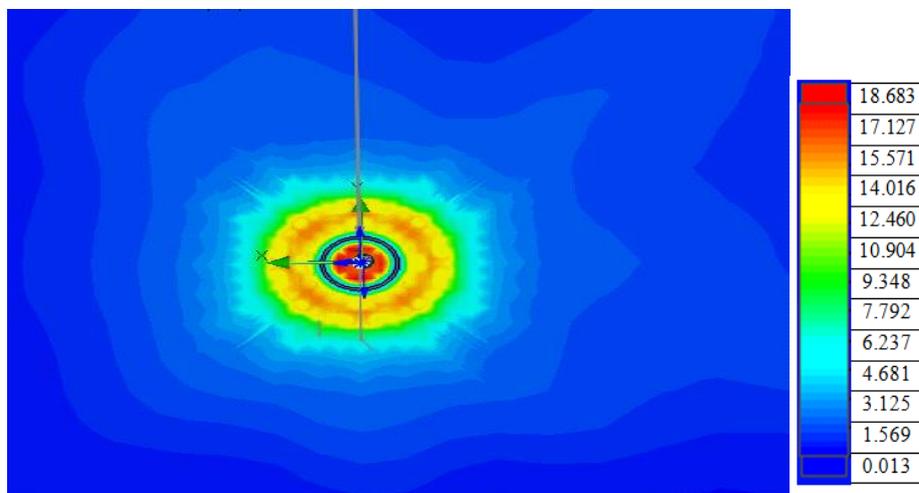


Рисунок 52 - Визуализация поля скоростей (вид спереди) при $Q_{вy}=400 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\beta=1$

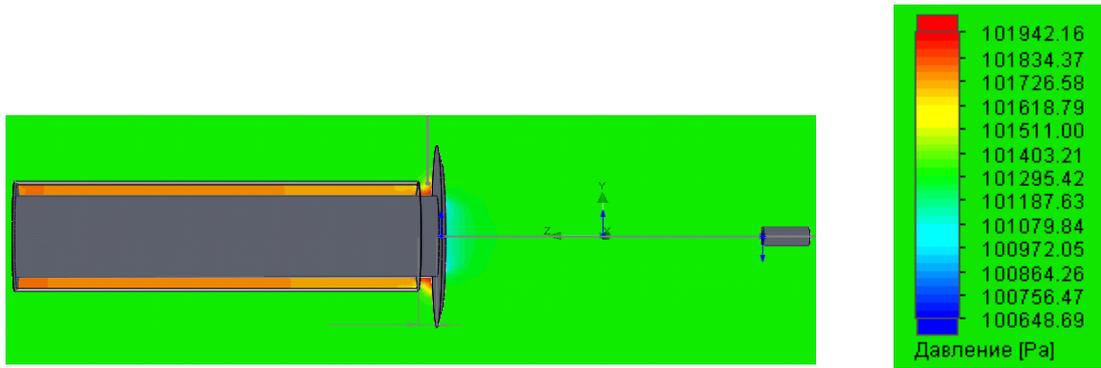


Рисунок 53 - Визуализация распределения давления в сечении

при $Q_{\text{вв}}=400 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\beta=1$

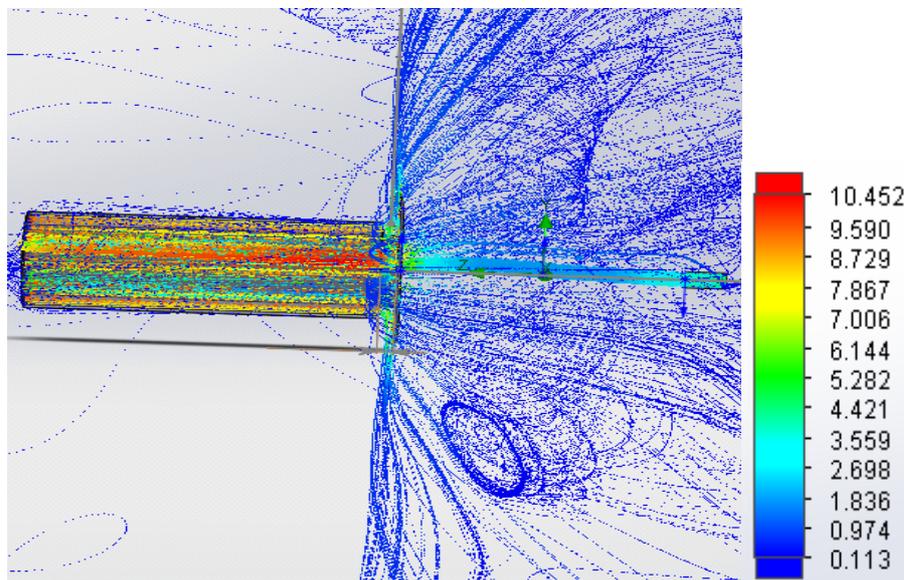


Рисунок 54 - Визуализация траектории потоков при $Q_{\text{вв}}=200 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\beta=1$

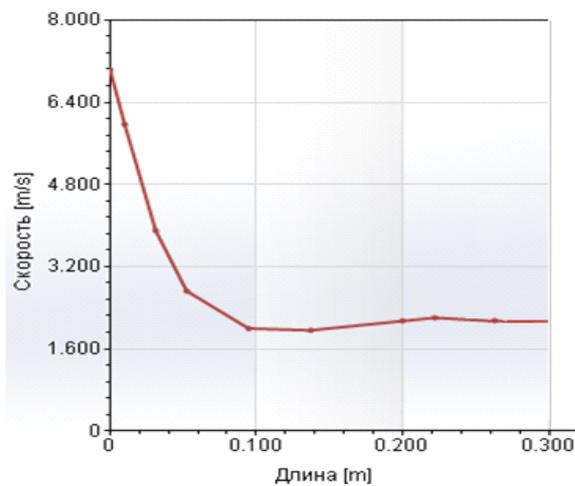


Рисунок 55- График зависимости осевых скоростей от удаленности от оси всасывающего отверстия при $Q_{\text{вв}}=200 \text{ м}^3/\text{ч}$

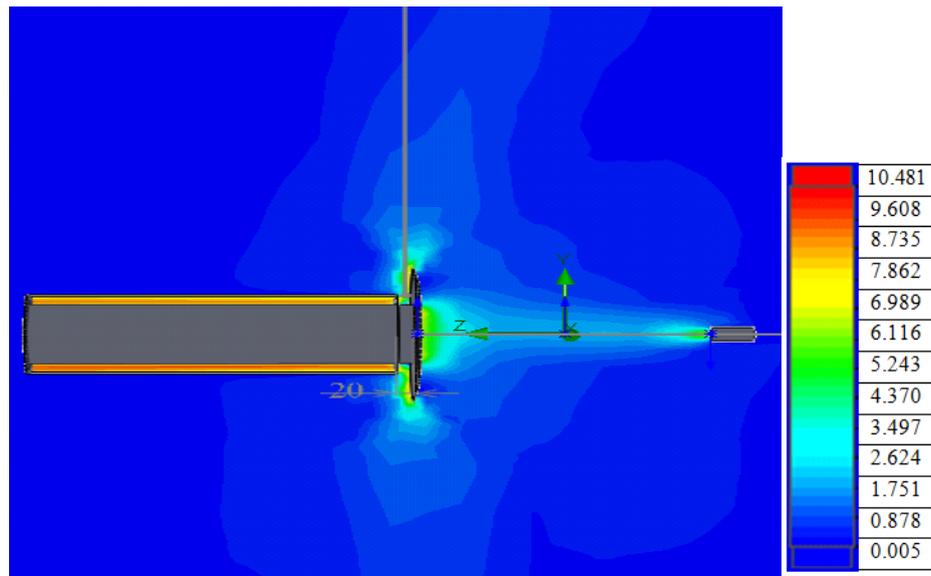


Рисунок 56 - Визуализация поля скоростей в сечении при $Q_{\text{в}}=200 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\beta=1$

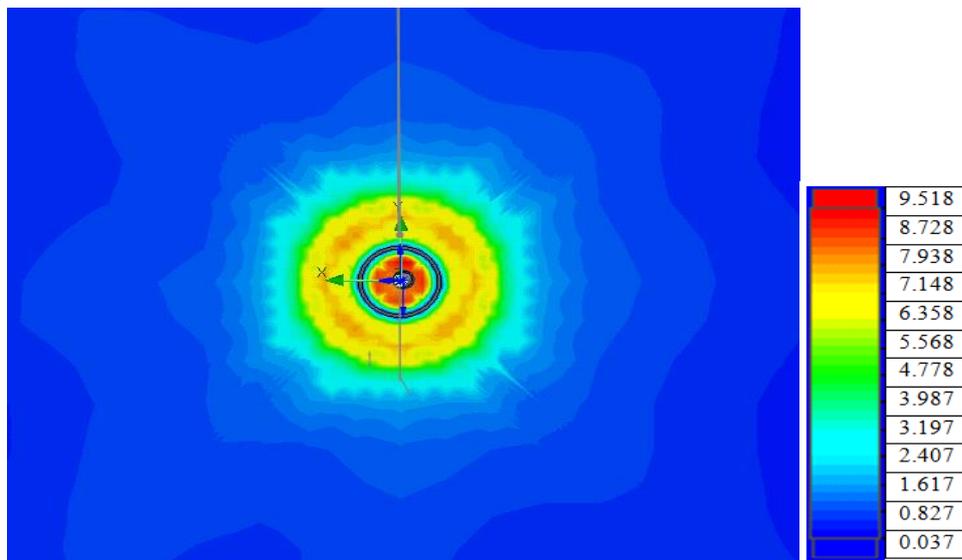


Рисунок 57 - Визуализация поля скоростей (вид спереди) при $Q_{\text{в}}=200 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\beta=1$

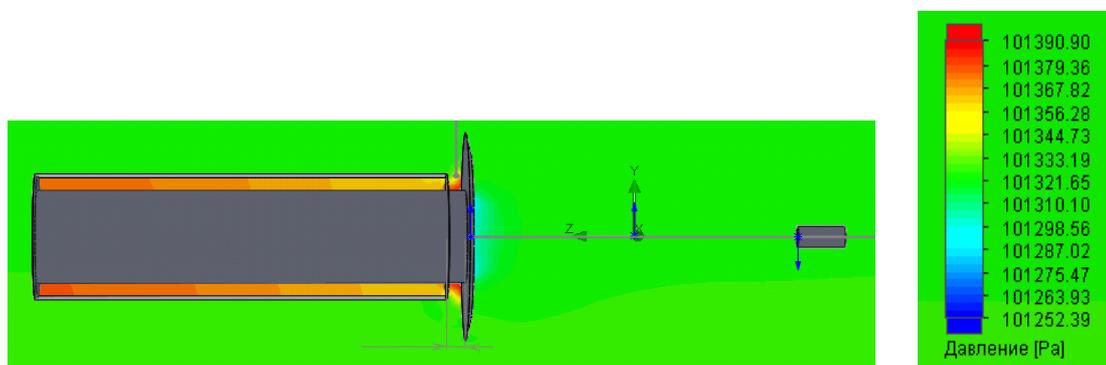


Рисунок 58 - Визуализация распределения давления в сечении
при $Q_{\text{в}}=200 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\beta=1$

3.5. Сравнение полученных результатов с существующими решениями по локальной вытяжной вентиляции

В данной работе было проведено сравнение моделей вытяжного коаксиального устройства предложенной конструкции, локального вытяжного устройства с двумя дисками [66], а также результаты экспериментов [67] полученные в Сибирском федеральном университете на прототипе устройства по патенту №RU 2046258 [68].

На рисунке 59 показана схема экспериментальной установки, в которой для создания противоточной вихревой струи во вход 1 подается воздух со скоростью $U_3=8,78$ м/с, $Q_{пр}=250$ м³/ч который закручивается в завихрителе 3, и дальше, двигаясь по кольцевому каналу 2, выходит в пространство. В результате закрутки потока на оси вытяжного устройства формируется область пониженного давления (разрежение), в которую подсасываются вредные выбросы с большого объема и далее удаляются в вентиляцию. Удаление воздуха из помещения происходит через трубу 4 со скоростью $U_в=4,39$ м/с, $Q_в=500$ м³/ч.

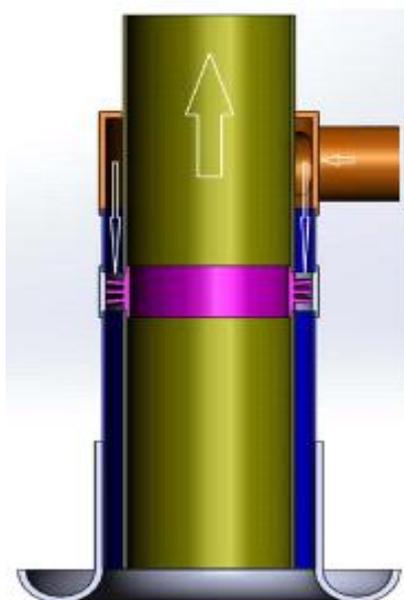


Рисунок 59 -Схема экспериментальной установки с противоточной вихревой струей по патенту №RU 2046258.

Модель экспериментальной установки принималась со следующими геометрическими параметрами: Диаметр внутреннего трубопровода D_B - 200 мм, диаметр подводящего трубопровода $D_{П}$ - 115 мм. Межтрубное расстояние h_T - 20мм. Угол диффузора - 90° . Размер раздающего устройства - $D_{ДЗ} = 350$ мм.

Результаты экспериментальных и расчетных исследований экспериментальной установки с противоточной вихревой струей полученные в Сибирском федеральном университете приведены на рисунке 60.

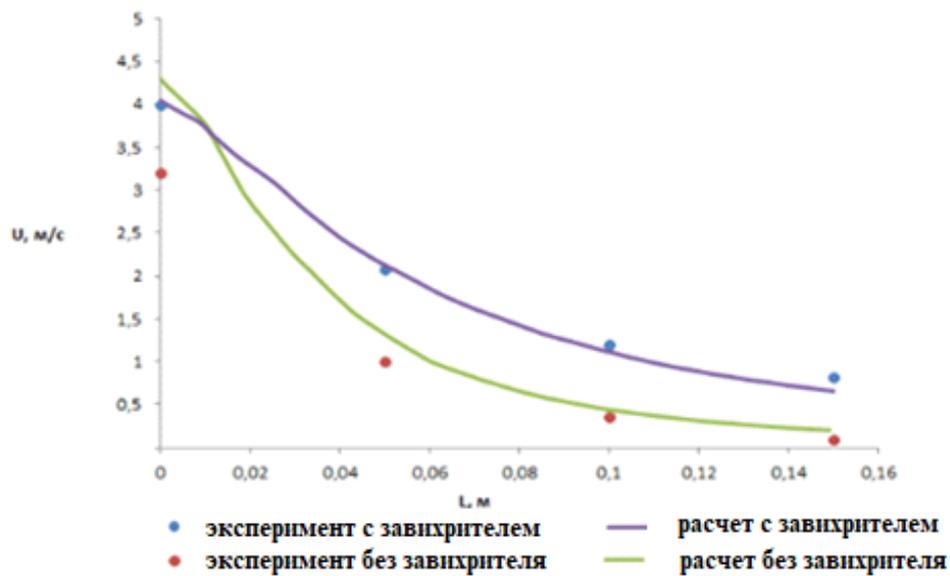


Рисунок 60- График распределения скоростей U , м/с по оси центральной трубы, на расстоянии L , м от установки.

Модель, локального вытяжного устройства с двумя дисками. была выполнена в программном комплексе Flowsimulation Solidworks и задавалась следующими параметрами: атмосферное давление - $P_a = 101325$ Па, температура воздуха - $t_n = 20$ С $^\circ$, расход воздуха проходящего в межтрубном пространстве и во внутренней трубе принимался равным - $Q_{vy} = 200, 500, 1000$ м 3 /ч, длина участка трубы внутренней $l_{vy} = 1000$ мм, внешней $l_{вн} = 990$ мм. Размер раздающего устройства (диаметр) - $D_d = 200$ мм, расстояние между дисками раздающего устройства - 10 мм. Диаметры внутреннего D_B и наружного D_n трубопровода составили 100 мм и 115 мм соответственно. Угол воздухораздающего устройства

относительно оси трубопроводов - 90° . Результаты моделирования устройства с заданными параметрами приведены на рисунках 61-63.

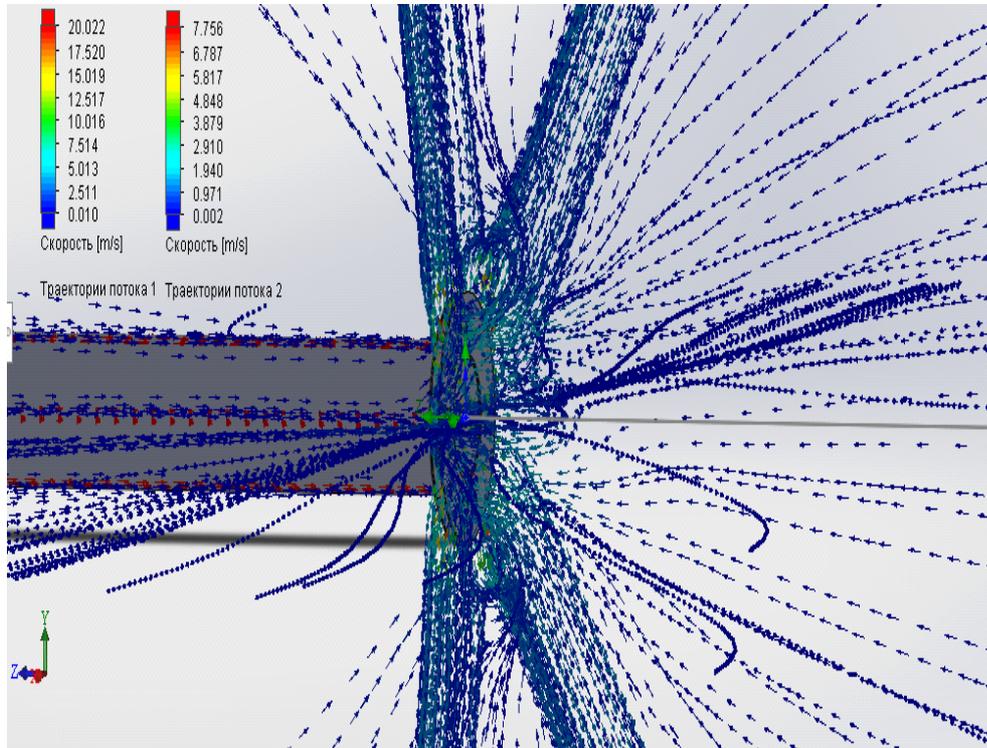


Рисунок 61 - Визуализация траектории потоков при $Q_{vy}=200 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\beta=1$

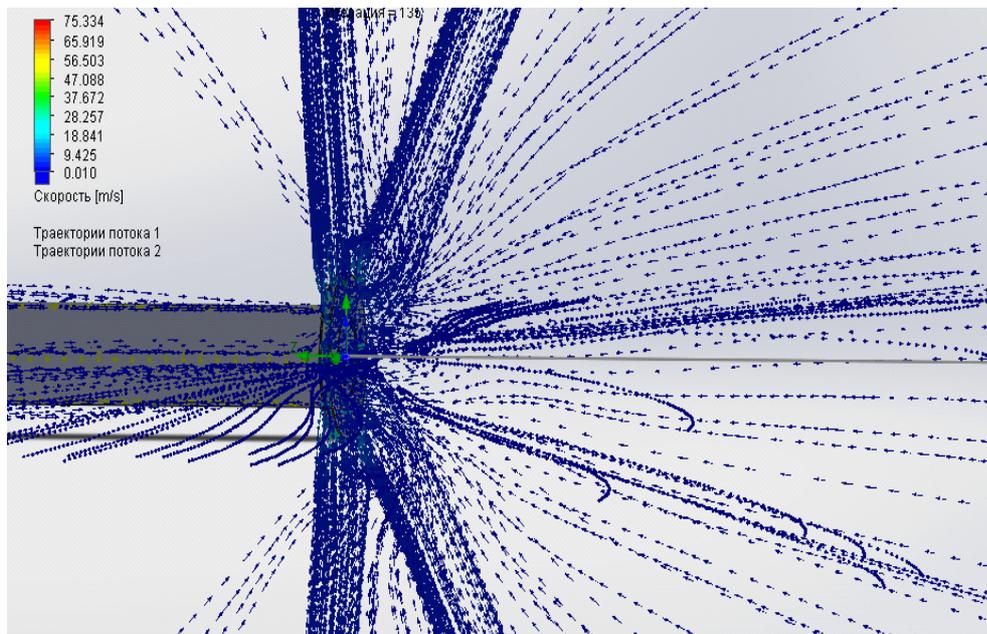


Рисунок 62 - Визуализация траектории потоков при $Q_{vy}=500 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\beta=1$

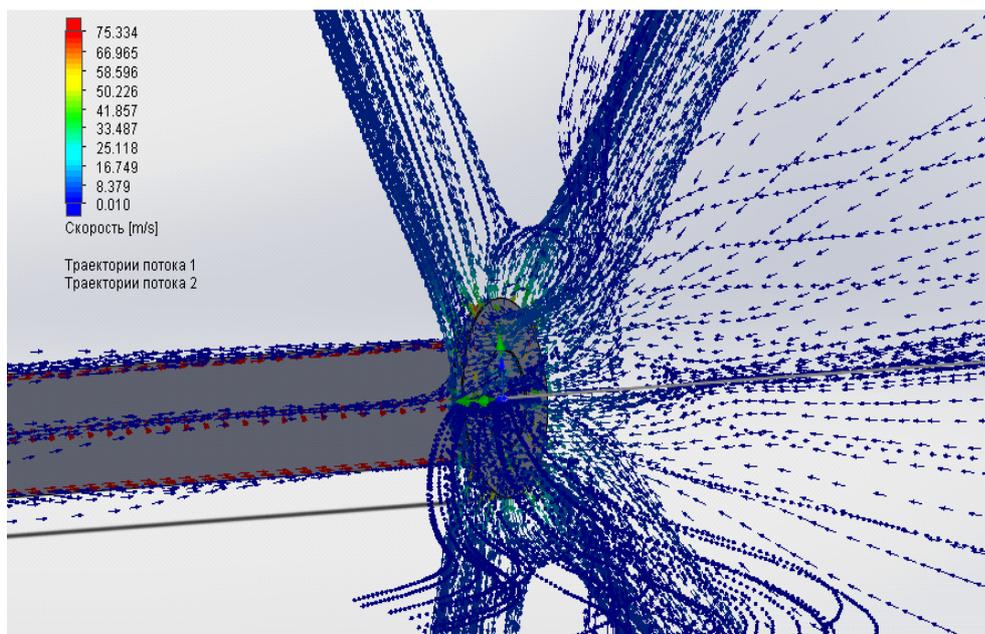


Рисунок 63 - Визуализация траектории потоков при $Q_{vy}=1000 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\beta=1$

На рисунках 61-63 представлены результаты моделирования, на которых представлены визуализации траекторий потоков, на которых наблюдается частичное схлопывание раздающего потока.

Во второй серии опытов все параметры за исключением расстояния между дисками оставались без изменений. Расстояние между дисками раздающего устройства составляло – 20 мм.

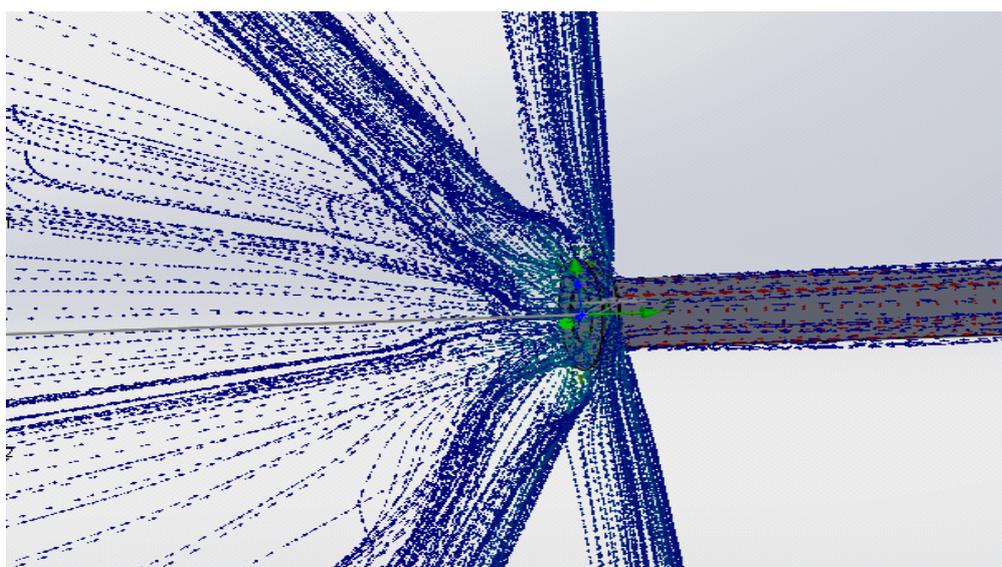


Рисунок 64 - Визуализация траектории потоков при $Q_{vy}=200 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\beta=1$
и расстоянии между дисками раздающего устройства $l_{1d}=20 \text{ мм}$

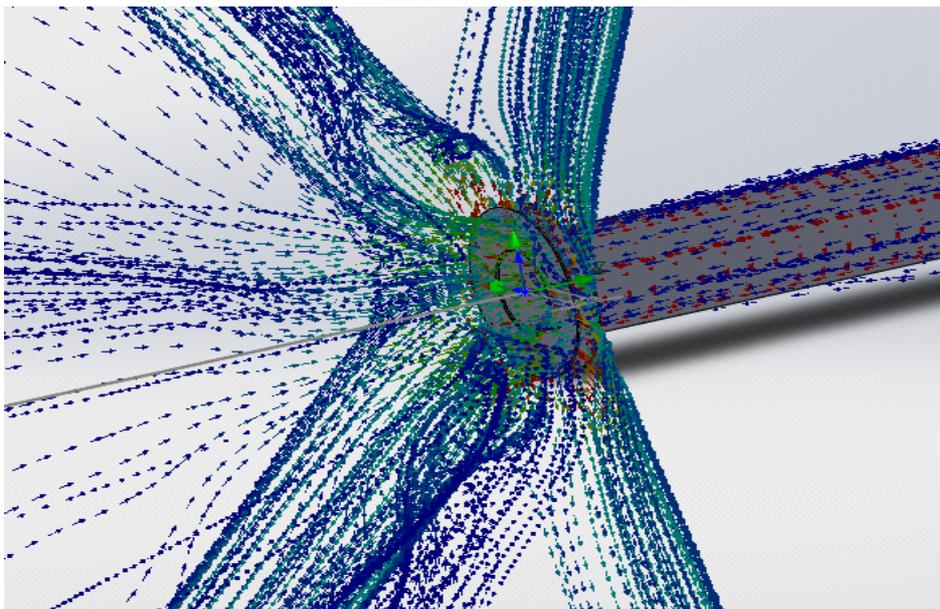


Рисунок 65 - Визуализация траектории потоков при $Q_{vy}=500 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\beta=1$ и расстоянии между дисками раздающего устройства $l_{1d}=20 \text{ мм}$

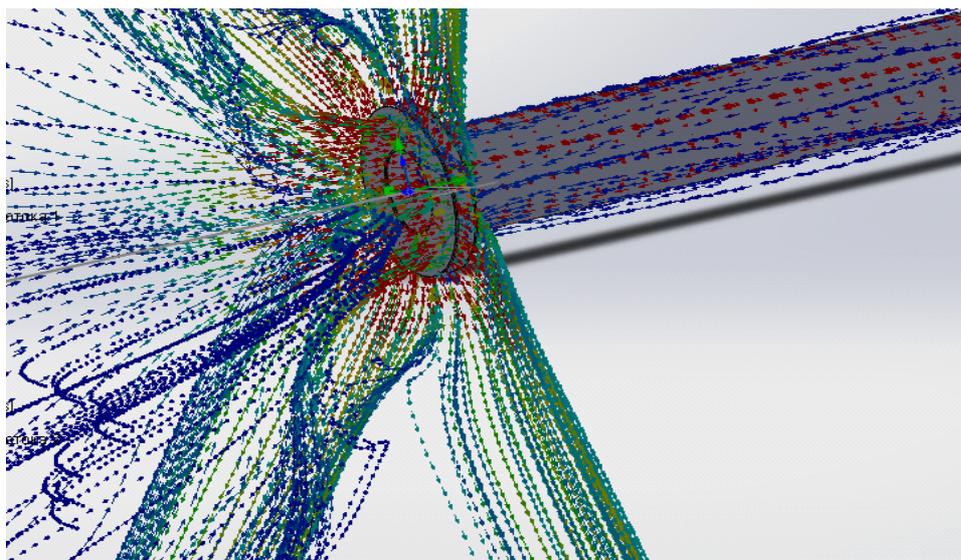


Рисунок 66 - Визуализация траектории потоков при $Q_{vy}=1000 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\beta=1$ и расстоянии между дисками раздающего устройства $l_{1d}=20 \text{ мм}$

Как видно из визуализаций 64-66 увеличение расстояния между дисками повлияло на профиль раздающего потока, а именно стабилизацию потока по сравнению с картиной, полученной в первой серии расчетов при расстоянии между дисками равном 10 мм. Наблюдается отсутствие частичного схлопывания раздающего потока.

По результатам проведенного анализа были построены графики осевых скоростей предлагаемого локального вытяжного устройства, локального вытяжного устройства с двумя дисками. и устройства по патенту №RU 2046258 построенного в Сибирском федеральном университете приведенные на рисунках 67-69.

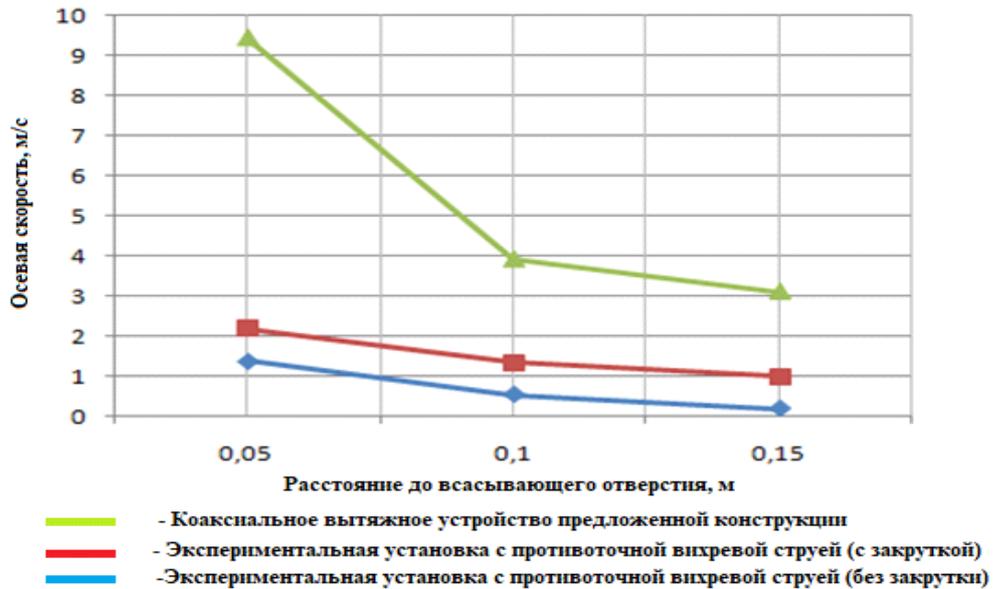


Рисунок 67- График осевых скоростей коаксиального вытяжного устройства и установки с противоточной вихревой струей приведены



Рисунок 68- График осевых скоростей коаксиального вытяжного устройства и вытяжного устройства, с двумя дисками, $Q_B=1000 \text{ м}^3/\text{ч}$

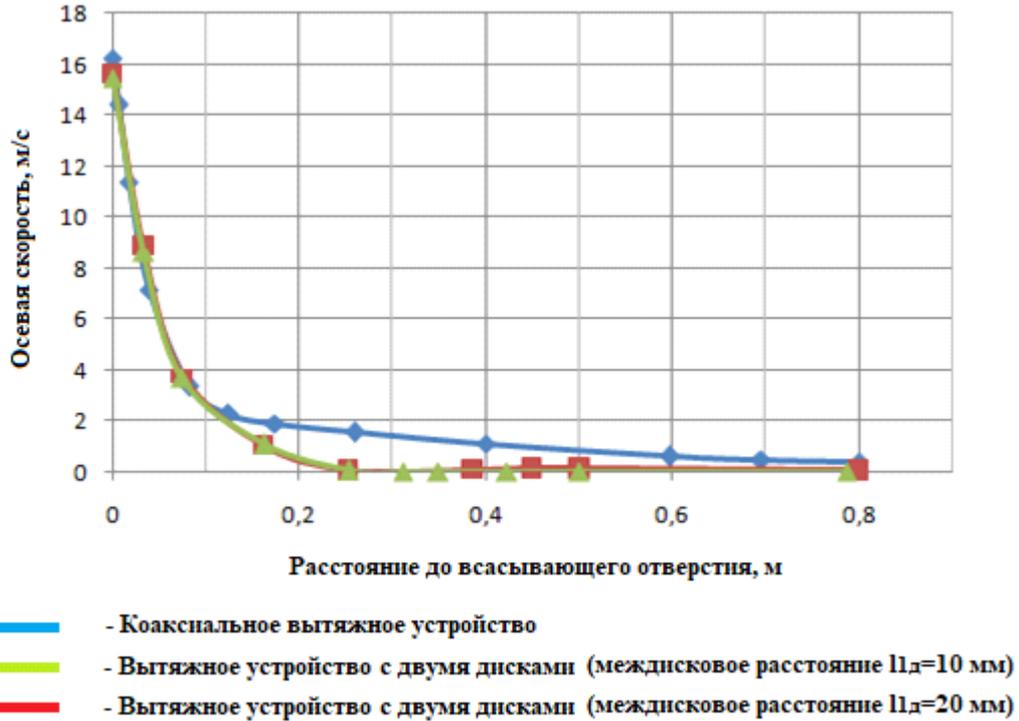


Рисунок 69- График осевых скоростей коаксиального вытяжного устройства и вытяжного устройства, с двумя дисками, $Q_v=500 \text{ м}^3/\text{ч}$

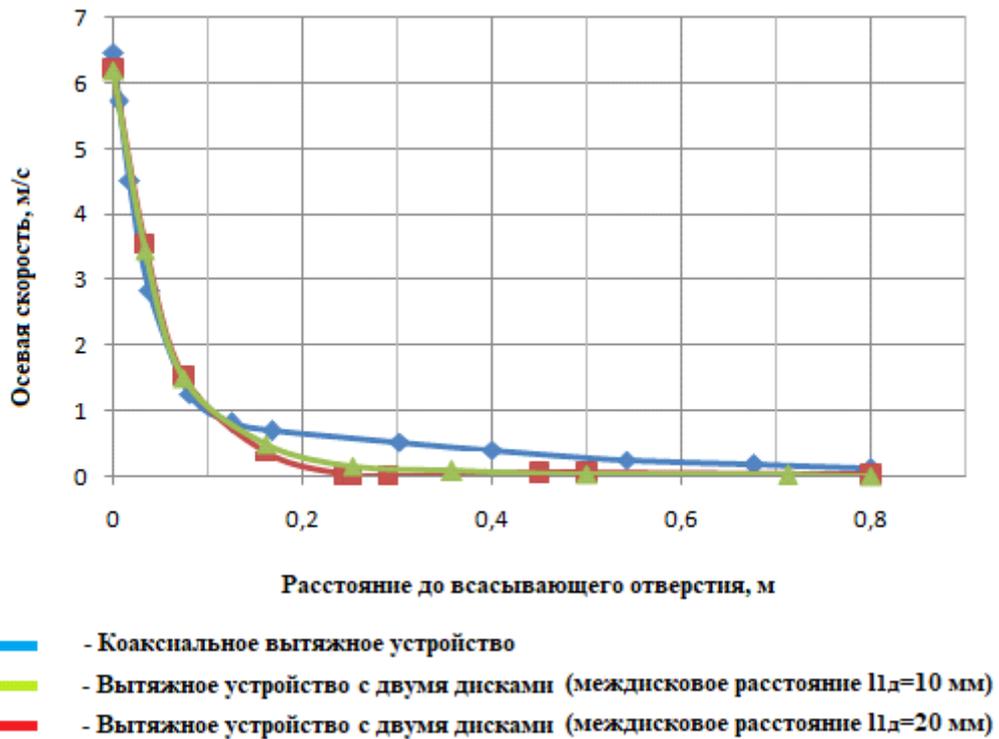


Рисунок 70- График осевых скоростей коаксиального вытяжного устройства и вытяжного устройства, с двумя дисками, $Q_v=200 \text{ м}^3/\text{ч}$

3.6. Выводы по главе 3

1. Определены динамические характеристики работы устройства параметры, оказывающие влияние на эффективность его работы на основании разработанных моделей коаксиального всасывающего устройства для локальной вытяжной вентиляции.
2. Определены значения диапазонов расходов и скоростей, влияющих на взаимодействие приточной и вытяжной струи.
3. Установлено, минимальные значения, при которых достигается устойчивость работы коаксиального вытяжного устройства.
4. Определены значения осевых скоростей при различных расходах воздуха с соотношением расходов β обеспечивающем работоспособность устройства;
5. В результате сравнения моделей локального вытяжного устройства предложенной конструкции, устройства по патенту № 2046258 и локального вытяжного устройства с двумя дисками установлены отличия в картине профиля скоростей коаксиального локального вытяжного устройства и локального вытяжного устройства с двумя дисками, а также установлены значения осевых скоростей моделей локальных вытяжных устройств анализ которых показал, что осевая скорость коаксиального локального вытяжного устройства предложенной конструкции несколько выше по сравнению с вышеуказанными моделями устройств.

ГЛАВА 4.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОАКСИАЛЬНОГО ВЫТЯЖНОГО УСТРОЙСТВА

Для подтверждения теоретических выводов, изложенных в главе 3 в частности для определения значений осевых скоростей в рамках диапазона регулирования расхода воздуха как основного параметра, отражающего эффективность устройства и проведения экспериментов с целью исследования всасывающего факела с ограничивающим потоком, была разработана и собрана экспериментальная установка, в которой реализована концепция двухходового вентиляционного устройства с поворотной камерой, что позволило реализовать техническое решение при котором возможно использование одного побудителя (вентилятора) работающего как на всас для удаления воздуха, так и одновременно на подачу потока воздуха формирующего ограничивающий поток воздуха в коаксиальном вытяжном устройстве. Следует отметить, что концептуальное решение, при котором используется один побудитель, возможно, применять также для разработки очистных устройств, реализуемых в едином корпусе для создания фильтровентиляционных устройств применительно к плазменной обработке металлов. Принципиальная схема установки представлена на рисунке 71.

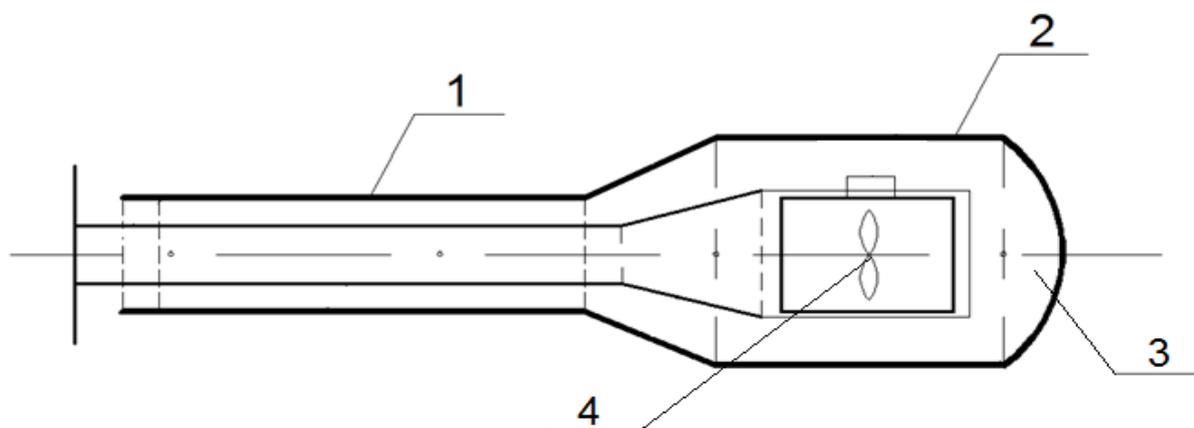


Рисунок 71 - Принципиальная схема установки : 1- коаксиальное вытяжное устройство, 2 - единый корпус, 3- поворотная камера, 4- побудитель

Установка состоит из двух основных узлов, а именно коаксиального вытяжного устройства и корпуса со сдвоенным побудителем, состоящим из двух сопряженных хомутом осевых вентиляторов скоммутированных для одновременного включения, регулирования производительности и выключения, что позволило добиться регулирования производительности по объему воздуха в более широком диапазоне.

4.1. Разработка экспериментального стенда и описание условий его работы

Вышеизложенные принципиальные решения были взяты за основу для разработки экспериментального стенда. Разработанный экспериментальный стенд состоит из следующих компонентов и включает в себя диффузор-ограничитель (1), неподвижно закрепленный на внутренней трубе (3) к которой шпильками закрепляется наружная труба (2). Шпильки выполняют функцию центровки и закрепления в необходимое положение внутреннего и наружного трубопроводов относительно друг-друга для достижения соосности трубопроводов. Внешний и внутренний трубопроводы подсоединяются к внешнему и внутреннему конусу соответственно выполняющих функцию переходника, соединяющего коаксиальное вытяжное устройство с корпусом снаружи и побудителем, установленным внутри корпуса формируя единую конструкцию. Внутренний конус (5) подключается к переходнику, установленному в корпусе вентилятора (10). Внешний конус (6) закрепляется на корпусе установки (7). Торец корпуса установки (7) закрывается торцевым ограничителем, выполненным в виде полусферической поворотной камеры (8) служащей для плавного разворота потока на выходе из вентилятора (9). В качестве побудителя потока используется вентиляционная установка, собранная из двух канальных вентиляторов круглого сечения марки VezaTPro 200 с расходом воздуха около 1000 м³/ч. Для изменения производительности вентиляционная установка подключалась к реостату, позволяющему плавно

изменять производительность вентиляторов. Канальные вентиляторы устанавливаются последовательно через переходную муфту. Для регулировки размеров выходного отверстия для истечения ограничивающего потока образованного расстоянием наружной трубы (2) от диффузора-ограничителя (1) на наружном трубопроводе устанавливается насадка (4) выполненная в виде кольцевой обоймы подвижно закрепленной на трубопроводе, служащая для изменения размеров выходного отверстия путем смещения к диффузору либо от него. Основные элементы установки закреплялись неподвижно относительно друг-друга, при этом выполнялась дополнительная герметизация всех сочленений для исключения утечки воздуха и устранения подсосов.

На рисунке 71 приведен общий вид экспериментального стенда с нанесенными обозначениями основных частей

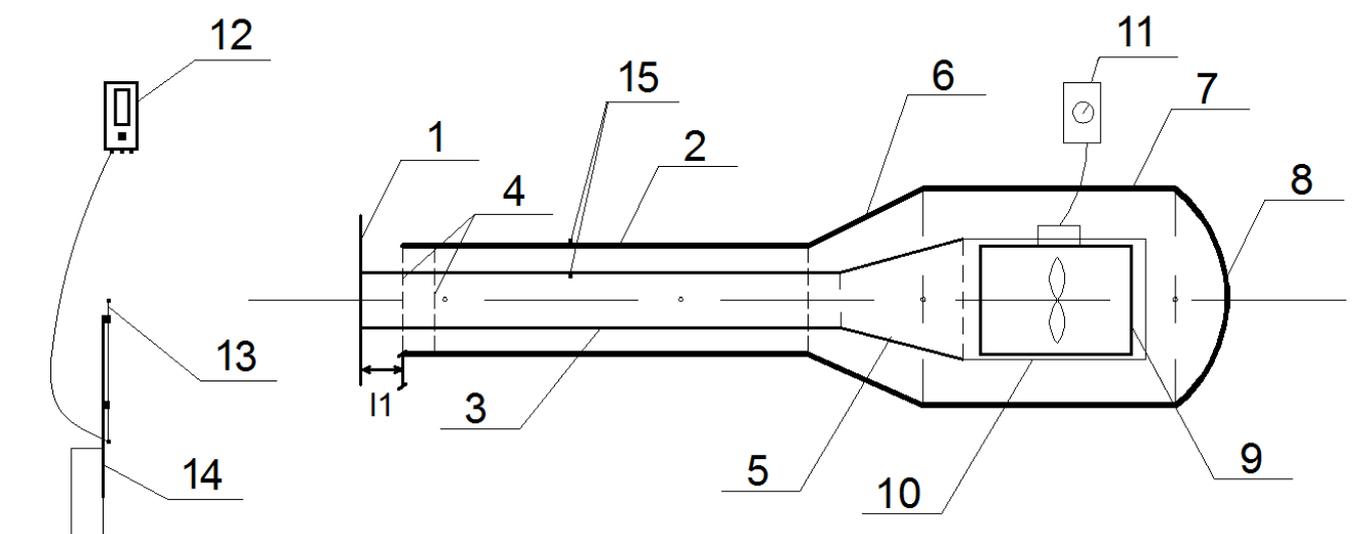


Рисунок 72- Принципиальная схема экспериментального стенда

Принцип действия экспериментальной установки заключается в следующем, воздушный поток всасывается через внутреннюю трубу (3) на которой закреплен круглый диффузор-ограничитель (1) при этом, внутренний воздуховод меньшего диаметра вставляется в наружный воздуховод большего диаметра так, чтобы наружный воздуховод располагался на некотором расстоянии от диффузора, который закреплен на воздуховоде меньшего диаметра образуя при этом

воздухораспределительное устройство. Второй поток проходит через межтрубное пространство, образованное внутренней трубой (3) и наружной трубой (2). Трубы закреплены между собой центровочными направляющими, которые регулируют расстояние, между трубами соответственно изменяя объем межтрубного пространства и, как следствие, объем воздуха, проходящего между трубами с одной из сторон межтрубного пространства, а также корректируют направление раздачи воздуха из межтрубного пространства. Поток, проходящий в межтрубном пространстве двигается к выходному отверстию образованному наружной трубой (2) и диффузором-ограничителем (1) обтекает диффузор-ограничитель и далее распределяется в пространство вокруг устройства, за счет чего образуется зона повышенного давления. Регулировка раздачи осуществляется насадкой-регулятором (4) закрепленной на наружной трубе (2). Фотографии экспериментального стенда приведены на рисунках 73-76.



Рисунок 73– Коаксиальное вытяжное устройство, вид сбоку

Для проведения экспериментов на стенде применялся следующий порядок работы:

1. Соосно установить штатив (14) на требуемом начальном расстоянии от коаксиального вытяжного устройства (1-4);



Рисунок 74- Раздающее отверстие коаксиального отсоса



Рисунок 75- Диффузор-ограничитель и отверстие коаксиального отсоса



Рисунок 76 -Корпус экспериментальной установки

2.Подсоединить к штативу термопару (13) термоанемометра АТЕ 1034 (12);

3. Отрегулировать размеры отверстия для истечения ограничивающего потока путем приближения или удаления от диффузора - ограничителя (1) регулирующей насадки (4);
3. Включить в сеть побудитель (10);
4. При помощи регулятора оборотов (11) выставить требуемый режим работы вентилятора, соответствующий расходу и осевой скорости для заданной точки;
5. Включить в работу термоанемометр (12);
6. При установившемся режиме работы вентилятора снять показания с термоанемометра АТЕ 1034;
7. После замера значения осевой скорости отсоединить зонд термоанемометра АТЕ 1034, открыть заглушку (15) тарированного отверстия в коаксиальном вытяжном устройстве и установить в отверстие термопару термоанемометра АТЕ1034 для замера скорости в воздуховоде с учетом методики по ГОСТ 12.3.018;
8. После проведения замеров значений осевых скоростей в воздуховоде коаксиального вытяжного устройства, тарированное отверстие закрывается, действия из пунктов 1,2,4,6,7 повторяются для определения значений осевых скоростей во всех требуемых точках с расстоянием 10 мм от предыдущей.

4.2. Методика проведения эксперимента

Для определения основных характеристик всасывающего течения был проведен комплекс экспериментальных исследований, заключающийся в установлении зоны действия всасывающего течения, определении распределения скоростей на различном удалении от всасывающего отверстия, а также определении осевой скорости потока в соответствии с требованиями [69-72].

На первом этапе определялась зона действия всасывающего течения. Для этого на расстоянии 800 мм от всасывающего патрубка устанавливался штатив с закрепленным на нем анемометром марки АТЕ 1034 "Актаком".

На диффузор ограничитель наносилась осевая разметка, позволяющая определить центр отверстия. Штатив юстировался относительно оси всасывающего отверстия лазерным уровнем, путем установки соосно уровня, диффузора и далее штатива с анемометром. Во время опыта штатив устанавливался на размеченный трафарет размерами 1000x1000 мм размеченный с шагом в 50 мм при этом одна из сторон трафарета устанавливалась по центру относительно оси диффузора так чтобы ось диффузора совпадала с центральной осью трафарета.

Ориентируясь на значения расстояний, полученных по результатам моделирования при проведении замеров штатив, передвигался от всасывающего отверстия, в противоположную сторону смещаясь к ранее определенной границе зоны действия всасывающего потока в контрольные точки на фиксированном расстоянии равном 50 мм до момента фиксации показаний на табло анемометра. Погрешностью измерительного прибора равнялась 5% при этом проводилась серия опытов с усреднением итоговых показаний. Измерения проводились в контрольных точках, серией не менее чем из семи замеров, с разностью между результатами в серии отличной не более, чем на $\pm 5\%$, в обратном случае серия замеров проводилась повторно. Доверительная вероятность в соответствии с [73-75] и [76] принималась 0,95. Согласно [75,81] при корреляционном регрессионном анализе для полнофакторного двухфакторного эксперимента количество серий опытов принималось равным четырем.

Таким образом, устанавливался диапазон действия вытяжного потока, а также отклонение от значений, полученных по результатам моделирования.

4.3. Результаты экспериментальных исследований

Замеры проводились в определенном ранее диапазоне для установленных расходов. Далее приведены значения осевых скоростей для трех точек с

расходами воздуха $Q=455 \text{ м}^3/\text{ч}$, $380 \text{ м}^3/\text{ч}$, $360 \text{ м}^3/\text{ч}$. Результаты замеров сведены в таблицы 4- 6.

Таблица 4 - Результаты замеров при $Q= 455 \text{ м}^3/\text{ч}$

Расстояние по оси от всасывающего отверстия	Осевая скорость
0	13,7
5	5,5
10	2,95
15	2,15
20	1,74
25	1,52
30	1,43
35	1,32
40	1,224
45	1,185
50	1,125
55	0,966
60	0,91
65	0,85
70	0,68
75	0,592
80	0,514

Таблица 5 - Результаты замеров при $Q= 380 \text{ м}^3/\text{ч}$

Расстояние по оси от всасывающего отверстия	Осевая скорость
0	13
5	4,9
10	2,43
15	1,73
20	1,41
25	1,2
30	1,12
35	0,94
40	0,88
45	0,81
50	0,76
55	0,7
60	0,65
65	0,57
70	0,53
75	0,46
80	0,39

Таблица 6 - Результаты замеров при $Q= 360 \text{ м}^3/\text{ч}$

Расстояние по оси от всасывающего отверстия	Осевая скорость
0	12,2
5	4,42
10	2,16
15	1,45
20	1,23
25	1,03
30	0,97
35	0,88
40	0,82
45	0,78
50	0,71
55	0,66
60	0,58
65	0,52
70	0,46
75	0,41
80	0,35

На основании полученных данных были построены – сводные графики зависимости осевых скоростей от удаленности от оси всасывающего отверстия при различных значениях расходов удаляемого воздуха Q_1 - Q_3 значения при $\beta=1$, а также при расходе удаляемого воздуха Q_4 для не активированного отсоса.

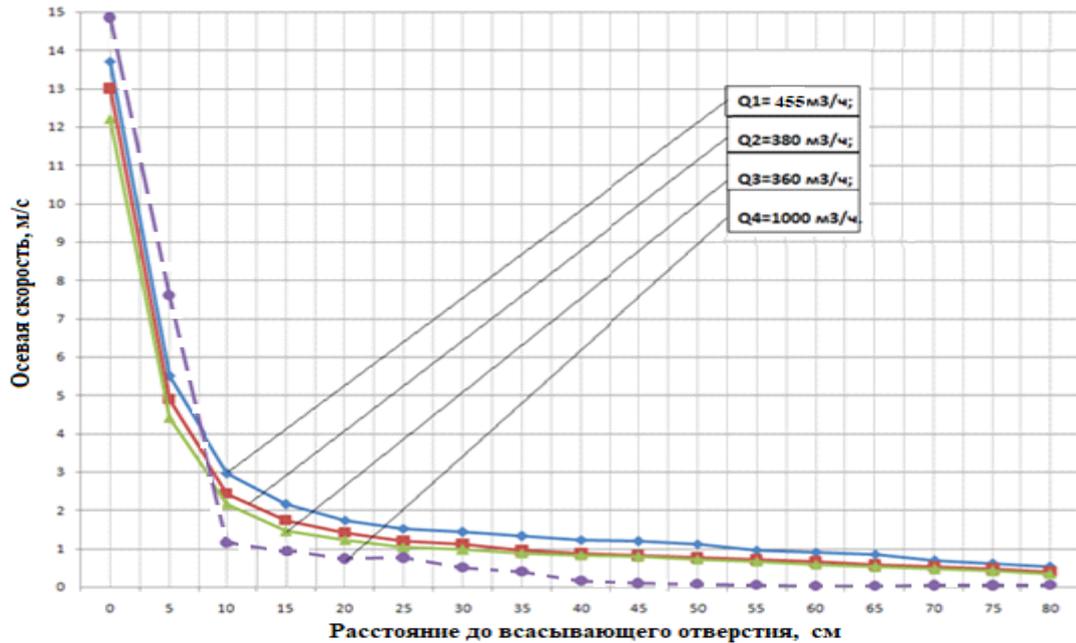


Рисунок 77 - График зависимости осевых скоростей от удаленности от оси всасывающего отверстия при заданных расходах Q_1 - Q_4 ($\text{м}^3/\text{ч}$) при значении $\beta=1$

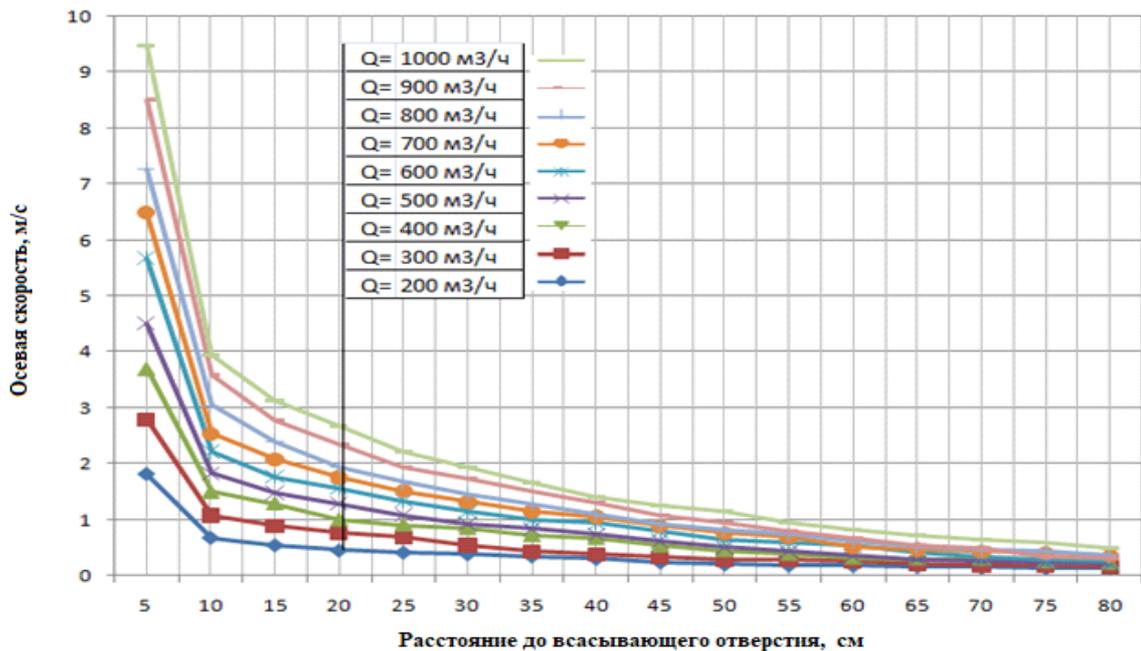


Рисунок 78 - График зависимости осевых скоростей от удаленности от оси всасывающего отверстия при заданных расходах Q ($\text{м}^3/\text{ч}$) и значении $\beta=1$

4.4. Проверка адекватности полученных экспериментальных данных

Аэродинамическое исследование коаксиального отсоса с радиальной раздачей ограничивающего потока воздуха предложенной конструкции осуществлялось при помощи теории планирования эксперимента [77-79], с использованием [80], для выявления закономерности между эффективностью всасывания характеризующейся осевой скоростью, а именно удаленностью устройства от оси выделения вредностей и расхода воздуха на всасывание вредностей и формирование ограничивающего потока в широком диапазоне изменений расхода воздуха, а также эффективном диапазоне изменения скорости всасываемого воздуха на оси.

В исследовании постоянными параметрами приняты:

- температура окружающей среды $T_{\text{ср}} = 22$;
- давление окружающей среды $P_{\text{атм}} = 101325$ Па.

Варьируемые параметры:

- Объемный расход воздуха на всасывание и формирование ограничивающего потока $V_{\text{вс}}$, м³/ч;
- Расстояние по оси от места образования вредных выделений, см;

Уровни варьирования факторов представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Уровни варьирования факторов

Уровни факторов	Факторы	
	X1 (м ³ /ч)	X2 (см)
Основной (нулевой)	750	25
Нижний	500	20
Верхний	1000	30
Интервал варьирования	100	5

В таблице 7, X_1 , м³/ч – Объемный расход воздуха на всасывание и формирование ограничивающего потока; X_2 , см – Расстояние по оси от места образования вредных выделений.

Для проведения эксперимента использовался полный факторный ортогональный план [81]. Для двухфакторного эксперимента матрица планирования выглядит (таблица 8) следующим образом:

Таблица 8 - Ортогональный план первого порядка для двух факторов

Наименование	№ опыта	Факторы (кодированные значения)	
Ядро плана	1	-1	-1
	2	1	-1
	3	-1	1
	4	1	1

Для обработки результатов эксперимента используем методику, описанную в [82,83]. Добавим фиктивный столбец $X_0 = 1$, а также дополнительные столбцы $X_{12} = X_1 \cdot X_2 = X_3$ к кодированным значениям X_1 и X_2 в исходную таблицу (таблица 8) плана. Тогда матрица планирования будет иметь вид:

Таблица 9– Матрица ортогонального плана первого порядка в кодированных значениях

Матрица двухфакторного полнофакторного эксперимента в кодированных значениях			
b0	b1	b2	b12
x0	x1	x2	x3
+	-	-	+
+	+	-	-
+	-	+	-
+	+	+	+

Применяя методический подход, изложенный в [84], подставляя принятые и выведенные данные, фактические результаты эксперимента Y_j , полученные в ходе проведения опытов, получим следующую матрицу плана эксперимента (таблица 10):

Таблица 10 – Матрица планирования эксперимента

Результаты расчета выходных параметров по уравнению полученной модели

Факторы (натуральные значения)		Отклик				
$X_1, \text{м}^3/\text{ч}$	$X_2, \text{см}$	Y_{j1}	Y_{j2}	Y_{j3}	$Y_{\text{ср}}$	Y_j
1000	20	2,18	2,23	2,06	2,155	2,093
500	20	1,05	0,85	1,09	0,996	1,057
1000	30	1,73	1,75	1,74	1,741	1,801
500	30	0,91	0,73	0,84	0,832	0,765

В таблице 10, Y_j , м/с- значения оценок отклика, найденные по модели, построенной после обработки экспериментальных данных.

Расчет построчных средних значений опытов для количества опытов равному трем получим следующее уравнение:

$$y - J = \frac{Y_{j1} + Y_{j2} + Y_{j3}}{m^*} \quad (17)$$

где:

Y_{jn} - значения результатов опытов;

m^* - число повторяющихся опытов равно $m^*=3$

$$y_1 - J_1 = \frac{2,18 + 2,23 + 2,06}{3} = 2,155$$

$$y_2 - J_2 = \frac{1,05 + 0,85 + 1,09}{3} = 0,996$$

$$y_3 - J_3 = \frac{1,73 + 1,75 + 1,74}{3} = 1,741$$

$$y_4 - J_4 = \frac{0,91 + 0,73 + 0,84}{3} = 0,832$$

Определение построчных (выборочных дисперсий)

$$S_{2j} = \frac{\sum_{i=1}^{m^*} (y_{ji} - y_j^-)^2}{m^* - 1} \quad (18)$$

где:

y_{ji} -значения результата каждой серии проведенных опытов;

y_j^- -среднее значение результатов каждой серии проведенных опытов;

m^* -число повторяющихся опытов равно $m^*=3$

$$S_{2j1} = \frac{((2,18 - 2,155)^2) - ((2,23 - 2,155)^2) - ((2,06 - 2,155)^2)}{3 - 1} = 0,0075$$

$$S_{2j2} = \frac{((1,05 - 0,996)^2) - ((0,85 - 0,996)^2) - ((1,09 - 0,996)^2)}{3 - 1} = 0,0165$$

$$S_{2j3} = \frac{((1,73 - 1,741)^2) - ((1,75 - 1,741)^2) - ((1,74 - 1,741)^2)}{3 - 1} = 0,0001$$

$$S_{2j4} = \frac{((0,91 - 0,832)^2) - ((0,73 - 0,832)^2) - ((0,84 - 0,832)^2)}{3 - 1} = 0,0082$$

Тогда сумма построчных (выборочных) дисперсий

$$\sum S^2 = S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + S_4^2 = 0,0075 + 0,0165 + 0,0001 + 0,0082 = 0,032$$

Определение однородности по критерию Кохрена

при $\alpha=0,05$, общем числе опытов (взаимодействий) равном 4 и числе

повторяющихся опытов $m=m^*-1=3-1=2$ Критерий Кохрена равен

$$G_{\text{теор}(0,05,2,4)} = 0,7679$$

$$G_{\text{эксп}} = \frac{S_{2j\max}}{\sum S^2} \quad (19)$$

где:

$S_{2j\max}^2$ - значения максимальной дисперсии;

S^2 - сумма построчных дисперсий

$$G_{\text{эксп}} = \frac{0,0165}{0,032} = 0,511$$

Определив теоретическое значение критерия Кохрена и сравнив данное значение с экспериментальным значением получим, $G_{\text{эксп}}=0,511 < G_{\text{теор}}=0,7679$, следовательно, дисперсии однородны.

Определение коэффициентов в уравнении регрессии

$$b_0 = \frac{\sum_{j=1}^n (y^j * x_0^j)}{n} \quad (20)$$

где:

$y^j * x_0^j$ -значения построчных значений опытов и средних значений опытов для количества опытов равному трем

n -число взаимодействий (опытов) для двухфакторного ПФЭ равно $n=4$

$$b_0 = (2,155+0,996+1,741+0,832) / 4 = 1,429;$$

$$b_1 = (-2,155+0,996-1,741+0,832) / 4 = -0,518;$$

$$b_2 = (-2,155-0,996+1,741+0,832) / 4 = -0,146;$$

$$b_{12} = (2,155-0,996-1,741+0,832) / 4 = -0,061.$$

Проверка значимости коэффициентов регрессии

Дисперсия (отклика) воспроизводимости

$$S_{2\text{ВОСПР}} = \frac{\sum_{j=1}^n S_{2j}}{n} \quad (21)$$

где:

S_{2j} - сумма построчных (выборочных) дисперсий;

n -число взаимодействий (опытов) для двухфакторного ПФЭ равно $n=4$

$$S_{2\text{ВОСПР}} = \frac{0,032}{4} = 0,0081$$

Дисперсия коэффициентов уравнения регрессии

$$S_{2b} = \frac{S_{2\text{ВОСП}}}{n * m^*} \quad (22)$$

где:

$S_{2\text{восп}}$ - дисперсия (отклика) воспроизводимости;

n -число взаимодействий (опытов) для двухфакторного ПФЭ равно $n=4$;

m^* -число повторяющихся опытов равно $m^*=3$

$$S_{2b} = \frac{0,0081}{4 * 3} = 0,00067$$

Определение дисперсии коэффициентов уравнения регрессии

$$S_b = \sqrt{S_{2b}} \quad (23)$$

где:

S_{2b} - Дисперсия коэффициентов уравнения регрессии

$$S_b = \sqrt{0,00067} = 0,02598$$

Оценка статистической значимости коэффициентов регрессии

Оценка статистической значимости коэффициентов регрессии проводится по величине доверительного интервала:

$$\Delta b_i = \pm t * S(b_i) \quad (24)$$

где:

$\pm t$ –коэффициент Стьюдента, определяемый по доверительной вероятности и числу степеней свободы $f = N*(n - 1)$ (N – число опытов ПФЭ, n – число параллельных опытов);

$S(b_i)$ – ошибка коэффициентов регрессии.

При числе степеней свободы $f = N* (n1) = 4*(3-1) = 8$ и доверительной вероятности $\alpha=0,95$ табличное значение коэффициента Стьюдента равно 2,306

Определим значение доверительного интервала

$$\Delta b_i = 2,306 * 0,0259 = 0,059$$

Коэффициенты регрессии статистически значимы, так как их абсолютная величина больше доверительного интервала кроме b_{12} т.к. $b_{12}=0,061$ находится на границе доверительного интервала $\Delta b_i=0,059 \approx 0,06$.

$$Y_0 = 1,429667 + (-0,518)*(-x_1) + (-0,14633)*(-x_2)$$

$$Y_1 = 1,429667 + (-0,518)*x_1 + (-0,14633)*(-x_2)$$

$$Y_2 = 1,429667 + (-0,518)*(-x_1) + (-0,14633)*x_2$$

$$Y_{12} = 1,429667 + (-0,518)*x_1 + (-0,14633)*x_2$$

Проверка адекватности полученной модели

$$S_{2\text{вд}} = \frac{m * \sum_{j=1}^n (y - \hat{y}_j)^2}{n - l} \quad (25)$$

где:

$\sum_{j=1}^n (y - \hat{y}_j)^2$ - сумма квадратов разностей среднего значения измерений полученных при проведении опытов и значения отклика полученного по результатам построения модели;

n -число взаимодействий (опытов) для двухфакторного ПФЭ равно $n=4$;

m^* -число повторяющихся опытов равно $m^*=3$;

$l=k+1$, k - (число факторов), для рассматриваемого случая $l=k+1=2+1=3$.

$$S_{2\text{вд}} = \frac{3}{4 - 3} ((2,154997 - 2,15533)^2) - ((0,996997 - 0,99666)^2) - ((1,740337 - 1,74)^2) - ((0,765 - 0,83)^2) = 0,0046$$

Определение дисперсии воспроизводимости

$$S_{2\text{воспр}} = \frac{\sum S^2}{n} \quad (26)$$

где:

$\sum S^2$ -сумма построчных дисперсий;

n -число взаимодействий (опытов) для двухфакторного ПФЭ равно $n=4$

$$S_{2\text{воспр}} = \frac{0,032}{4} = 0,008$$

Определение экспериментального значения критерия Фишера

$$F_{\text{эксп}} = \frac{S_{2\text{ад}}}{S_{2\text{воспр}}} \quad (27)$$

где:

$S_{2\text{ад}}$ - дисперсия адекватности;

$S_{2\text{воспр}}$ - дисперсия воспроизведения

$$F_{\text{эксп}} = \frac{0,0046}{0,008} = 5,726$$

α		0,05
m1	(n-1)	1
m2	n(m*-1)	4

Теоретическое значение критерия Фишера

Теоретическое значение критерий Фишера определим при помощи функции (FРАСПОБР (0,05;1;4)) тогда теоретическое значение критерия Фишера составит 7,708647421. Так как экспериментальное значение критерия Фишера меньше теоретического значения $F_{\text{эксп}} = 5,726 < F_{\text{теор}} = 7,708$ модель считается адекватной.

Преобразуем полученное базовое уравнение $y = 1,429667 + (-0,518) * x_1 + (-0,14633) * x_2$ в размерный вид при помощи выражений $X_1 = (Q - 750) / 100 = 0,01 * Q - 7,5$ и $X_2 = (L_{\text{oc}} - 25) / 5 = 0,2 * L_{\text{oc}} - 5$

После подстановки этих выражений в безразмерное уравнение получаем размерное уравнение для расчета осевой скорости всасывающего факела:

$$V_{\text{oc}} = 1,429667 + (-0,518) * (0,01 * Q - 7,5) + (-0,14633) * (0,2 * L_{\text{oc}} - 5) \quad (28)$$

где:

Q - расход удаляемого воздуха, м³/ч

L_{oc} - осевое расстояние от источника вредных выделений, см

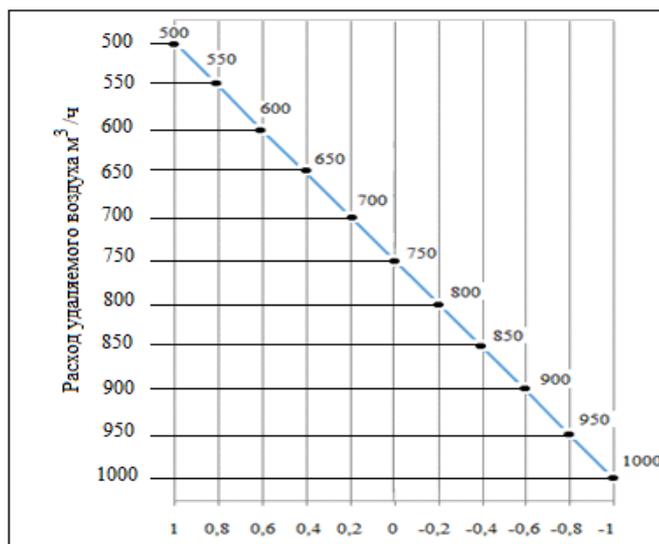


Рисунок 79- График определения дольного выражения величины расхода воздуха Q, м³/ч

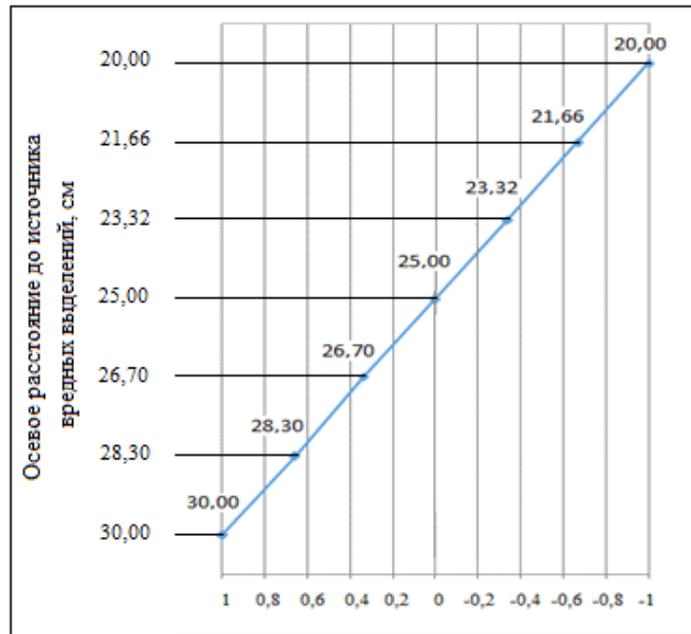


Рисунок 80 - График определения дольного выражения осевого расстояния от источника вредных выделений $L_{ос}$, см

4.5. Верификация по итогам экспериментальных и теоретических исследований

Сопоставление итогов теоретических исследований и данных, полученных в результате экспериментальных исследований осуществлялось с использованием графического метода в форме сравнения сходимости графиков осевых скоростей всасывающего потока в зависимости от удаленности от всасывающего патрубка, по рекомендациям, изложенным в [85-89]. Для сравнения использовались данные, полученные в ходе теоретических [90] и экспериментальных исследований, на стенде, при исследовании коаксиального вытяжного устройства предложенной конструкции с диаметром диффузора-ограничителя $D_{диф.} = 200$ мм. Значения осевых скоростей принимались к сравнению полученные при расходах воздуха $Q_1 = 380$ м³/ч и $Q_2 = 455$ м³/ч.

Снятие показаний скоростей на экспериментальной установке осуществлялось с помощью зонда АКТАКОМ и анемометра АКТКОМ АТЕ-1034 [91]. Значения расходов воздуха в соответствующих точках вычислялись

путем замера скорости зондом АКТАКОМ в тарированном сечении [92] воздуховода на расстоянии 2-ух калибров от всасывающего отверстия.

Полученные значения скоростей в воздуховоде в точках сечения усреднялись и далее полученное значение средней скорости подставлялось в формулу (29) для получения значения расхода воздуха.

$$L = S * V * 3600 \quad (29)$$

где:

S - площадь живого сечения воздуховода (m^2);

V - скорость воздуха в живом сечении воздуховода полученная по результатам измерений (m/c).

На рисунке 81 и 82 приведено положение точек на экспериментальной установке для снятия показаний скорости.

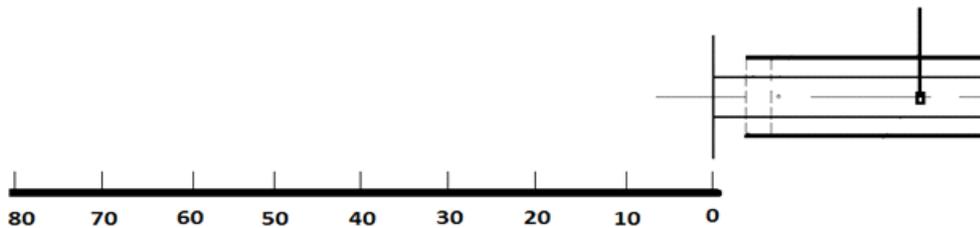


Рисунок 81—Положение точек для снятия показаний осевой скорости

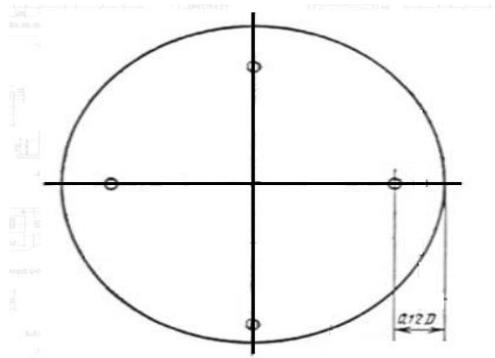


Рисунок 82 – Схема тарировки живого сечения воздуховода круглого сечения по ГОСТ 12.3.018

Точки замеров тарированного сечения определяются по формуле:

$$L = 0,12 * D \quad (30)$$

где: D – диаметр воздуховода, мм

и для исходного сечения находятся на расстоянии $L = 0,12 * 100 = 12$ мм.

Ниже, приведены графики распределения скорости воздуха, построенные по результатам замеров на стенде с наложением на него соответствующего графика, построенного по результатам теоретических исследований.

Для проверки сходимости итогов теоретических и экспериментальных исследований составлены таблицы 11 и 12. В таблицах приведены данные по результатам теоретических исследований и данные, полученные в результате экспериментальных исследований - значения скоростей, а также точки в которых проводились замеры осевых скоростей, соответствующие расстоянию от измерительного устройства до всасывающего патрубка.

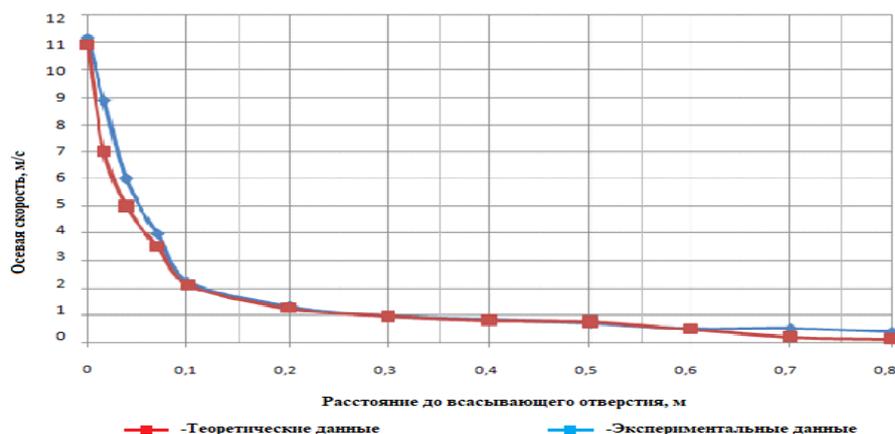


Рисунок 83 -График сходимости значений осевых скоростей по итогам теоретических и экспериментальных исследований при $Q_1 = 380 \text{ м}^3/\text{ч}$

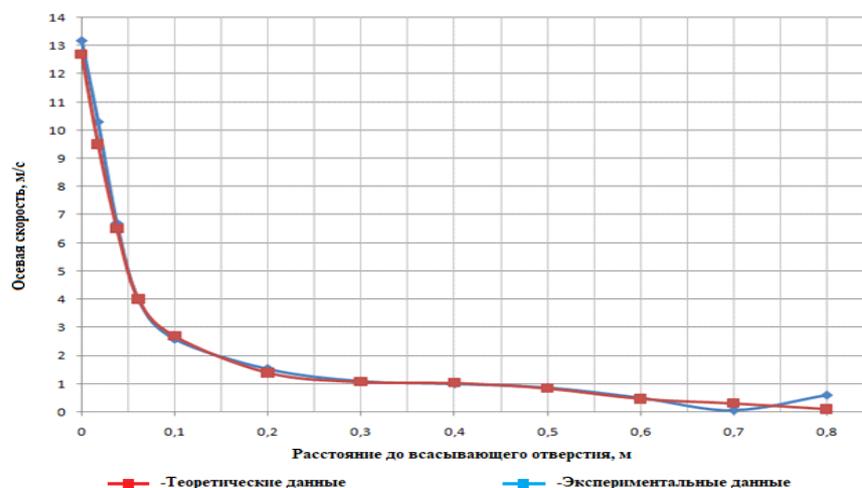


Рисунок 84 -График сходимости значений осевых скоростей по итогам теоретических и экспериментальных исследований при $Q_2 = 455 \text{ м}^3/\text{ч}$

Таблица 11 – Сходимость итогов по расчету осевой скорости
при $Q_1 = 380 \text{ м}^3/\text{ч}$

Осевое расстояние, м	Осевая скорость по результатам теоретического исследования, м/с	Осевая скорость по результатам экспериментального исследования, м/с	% расхождения
0	11,19	10,9	2,59
0,1	2,23	2,11	5,38
0,2	1,31	1,25	4,58
0,3	0,98	0,95	3,06
0,4	0,85	0,81	4,70
0,5	0,73	0,75	2,74
0,6	0,52	0,48	7,69

Таблица 12 – Сходимость итогов по расчету осевой скорости
при $Q_1 = 455 \text{ м}^3/\text{ч}$

Осевое расстояние, м	Осевая скорость по результатам теоретического исследования, м/с	Осевая скорость по результатам экспериментального исследования, м/с	% расхождения
0	13,19	12,7	3,71
0,1	2,6	2,7	3,84
0,2	1,52	1,39	8,55
0,3	1,10	1,07	2,72
0,4	1,01	1,03	1,98
0,5	0,86	0,85	1,16
0,6	0,5	0,46	8

Средний процент расхождения составил в обоих случаях не превысил 5%.

В целом, картина распределения скорости в теоретических и экспериментальных исследованиях для выбранных точек, совпадают. Анализируя данные таблиц 11,12 с помощью критерия достоверности Стьюдента следует, что с вероятностью 0,95 95% значений теоретических и экспериментальных исследований равны.

Таким образом, сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований аэродинамических характеристик коаксиального вытяжного устройства предложенной конструкции, подтвердило адекватность результатов теоретических исследований, и правильность сделанных в результате экспериментальных исследований выводов, при этом расхождение результатов не превышает 5%, что свидетельствует о правомерности применения полученных экспериментальным путем зависимостей в инженерных методах расчетов.

4.6. Выводы по главе 4

1. По результатам экспериментальных исследований на разработанном экспериментальном стенде, на основании регрессионного анализа, получена регрессионная зависимость осевой скорости локального вытяжного устройства предложенной конструкции (ППМ РФ №207611) от заданного расстояния при заданном расходе воздуха, анализ которой показал увеличение осевой скорости по сравнению с обычным (не активированным) локальным вытяжным устройством.
2. Получено подтверждение экспериментальных данных, полученное при моделировании воздействия всасывающего и радиальнонаправленного ограничивающего потока.
3. Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований подтвердило адекватность предложенных численных моделей и подтвердило сделанные в результате экспериментальных исследований выводы.
4. Результаты расчетов ошибок измерений в ходе экспериментальных исследований позволяют сделать вывод о достаточной достоверности полученных результатов и возможности их использования в инженерных расчетах.

ГЛАВА 5. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ И ВНЕДРЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ. МЕТОДИКА ПОДБОРА КООКСИАЛЬНОГО ВЫТЯЖНОГО УСТРОЙСТВА. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Для подтверждения параметров работы устройства в условиях эксплуатации на соответствующих режимах удаления вредных выделений предложена методика промышленных испытаний коаксиального вытяжного устройства предложенной конструкции и его подбора с учетом, и в соответствии с требованиями нормативно-технической документации описывающей порядок подбора, и проведения испытаний конкретного образца, а также обоснование экономической целесообразности внедрения локального вытяжного устройства в сопоставимых условиях в сравнении с существующими устройствами для удаления вредных веществ из зоны плазменной резки.

5.1. Методика проведения промышленного испытания оборудования

Методика проведения промышленного испытания коаксиального вытяжного устройства составлена с учетом требований стандарта [93,94], рекомендаций [95], а также методических указаний [96,97].

Целью методики является определение характеристик работы локального вытяжного устройства в составе фильтровентиляционной установки, например, управляемой при помощи программы (рисунок 85) и сопоставление их с заявленными для номенклатуры обрабатываемых металлов на соответствующем режиме эксплуатации установки для плазменного резок металла.

В ходе испытаний определяется:

- Расход воздуха Q , м³/ч;
- Скорость воздуха в воздуховоде $V_{ж.с.вв}$, м/с;
- Скорость воздуха в рабочей зоне сечения $V_{ж.с.}$, м/с;

-Значение осевой скорости при заданной производительности фильтровентиляционной установки $V_{oc.}$, м/с;

- Вычисляется коэффициент эффективности действия местного отсоса, η

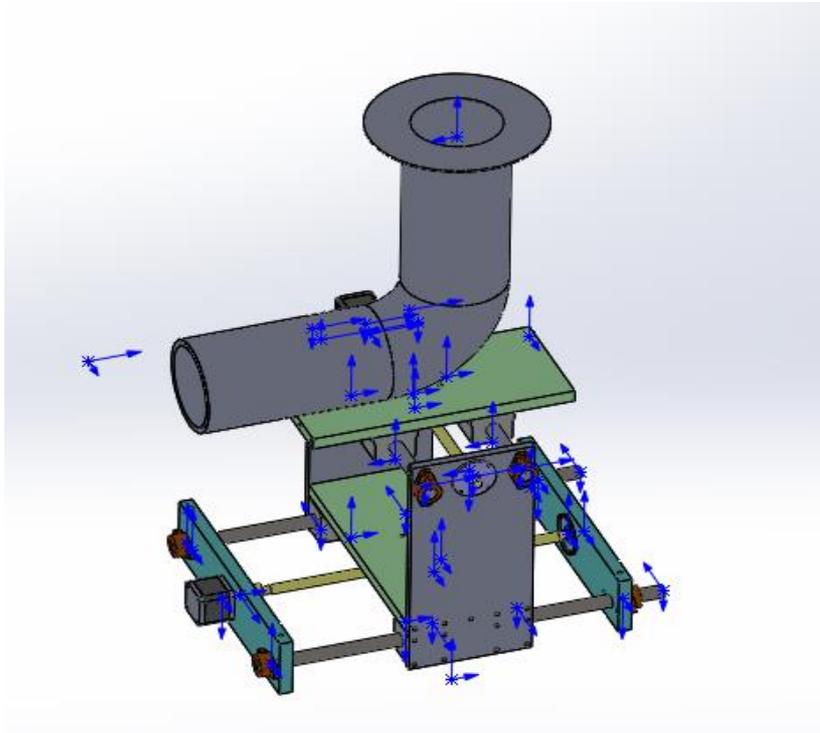


Рисунок 85- Модель коаксиального вытяжного устройства с числовым программным управлением

Условия проведения испытаний

Испытания проводятся в помещении с параметрами не менее нормируемых в соответствии с требованиями [98].

На схеме рисунке 85 представлена модель испытательного стенда, включающая в себя:

1. Коаксиальное вытяжное устройство [99];
2. Систему воздуховодов;
3. Вентилятор;
4. Фильтр;
5. Реостат управления производительностью вентилятора;
6. Анемометр электронный для контроля показателей скорости в воздуховоде, во всасывающем отверстии и на заданном расстоянии до всасывающего отверстия.

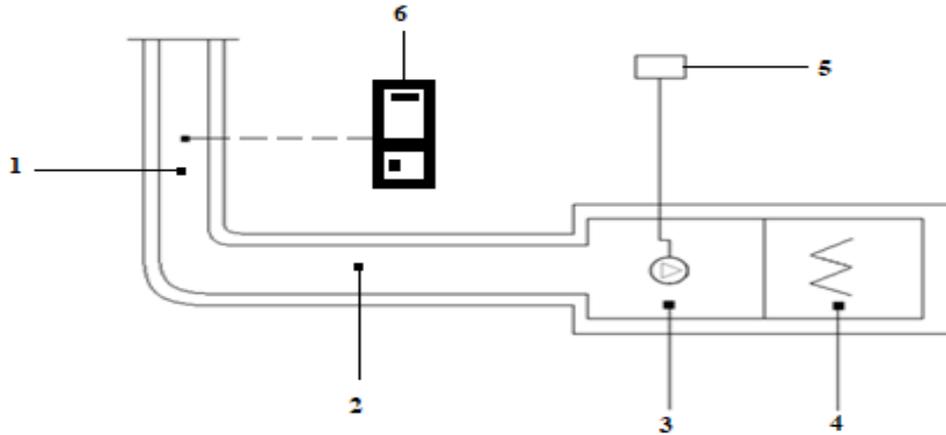


Рисунок 86- Схема стэнда для проведения испытаний

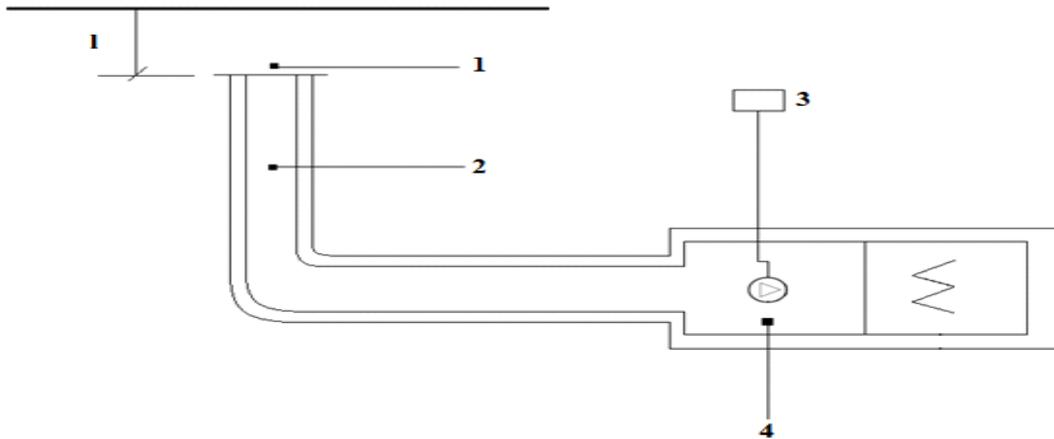


Рисунок 87- Схема проведения испытаний

Порядок проведения испытаний на экспериментальном стэнде следующий:

1. Подается питание на вентилятор (4);
2. При помощи реостата (3) выставляется требуемое значение производительности вентилятора;
3. При установившемся режиме работы вентилятора зонд анемометра устанавливается в тарированное отверстие (2) в соответствии с тарировочной схемой и фиксируется значение скорости в трубопроводе;
4. В установившемся режиме производятся замеры осевой скорости на требуемом расстоянии от источника выбросов (1);
5. Отключаются устройства в порядке обратном включению.

Испытания проводятся не менее трех раз для каждого режима.

Способ обработки, анализа и оценки результатов испытаний обработка данных производится в следующем порядке:

- 1) По номограмме, приведенной на рисунке 87 определяется значение осевой скорости соответствующей заданным значениям расхода воздуха Q , $\text{м}^3/\text{ч}$ и осевого расстояния l , см до заданной точки;

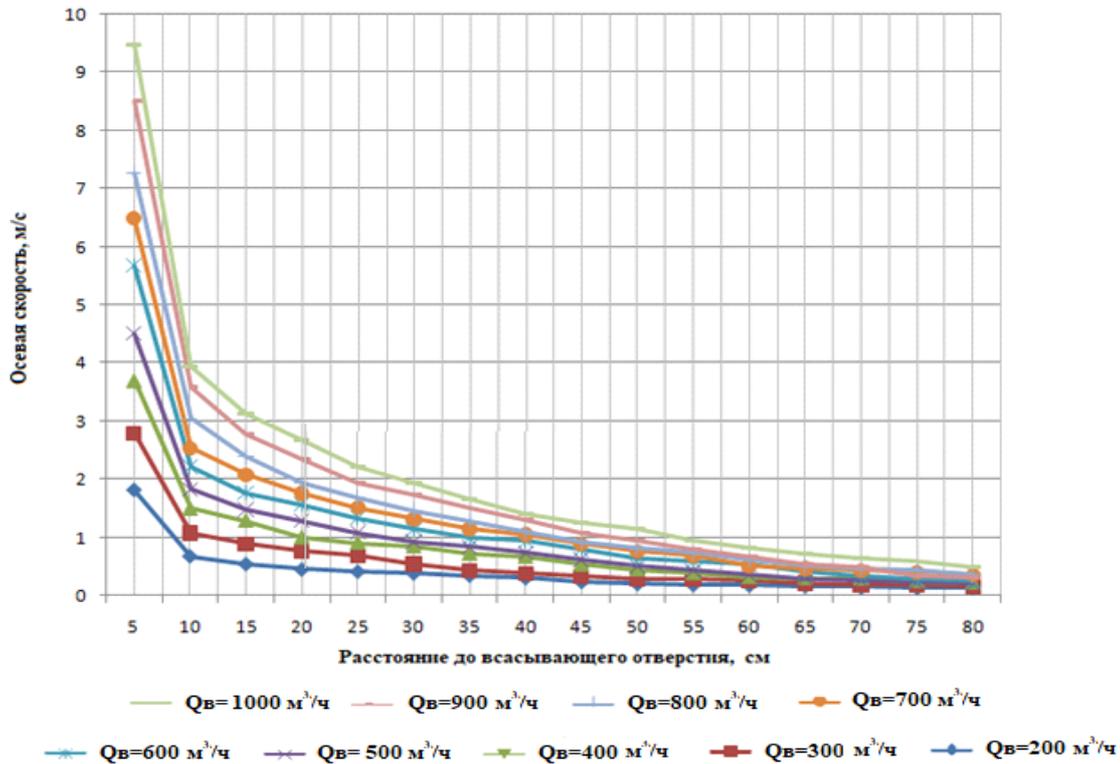


Рисунок 88– График определения значений осевых скоростей соответствующей заданным значениям расхода воздуха Q , $\text{м}^3/\text{ч}$ и осевого расстояния l , см до заданной точки

- 2) Далее определяется расхождение в значениях осевой скорости, расхождение между заявленным и измеренным значениями.

Расхождение не должно превышать 5 %.

$$\delta_{\text{исп}} = \frac{V_{oc} - V_{oc \text{ экс}}}{V_{oc}} * 100\% \quad (31)$$

где:

V_{oc} – заявленное значение осевой скорости, м/с;

$V_{oc \text{ экс}}$ – значение осевой скорости, полученное по результатам замеров м/с;

Используемые средства испытаний, контроля, измерений.

Для измерения параметров при проведении испытаний на испытательном стенде необходимо, руководствуясь стандартом [91,100], использовать сертифицированные, поверенные приборы с погрешностью не более 5%.

Измерения скоростей движения воздуха в канале осуществлять на участке с расположением мерных сечений в месте, делящем выбранный для измерения участок в отношении 3:1 в направлении движения воздуха, за местом возмущения потока (воздухонагреватель, поворот, т.д.) и не менее двух гидравлических диаметров перед ним.

Гидравлический диаметр определялся по формуле:

$$D_{г} = \frac{4S}{P} * 100\% \quad (32)$$

где:

S – площадь сечения воздуховода, м²;

P – периметр сечения воздуховода, м.

Координаты точек измерений скоростей движения, а также количество точек приведены на рисунке 89. Максимальное отклонение координат точек измерений от указанных на рисунке 89 не должно превышать ±10%.

В каждой точке измерения проводить не менее трех раз.

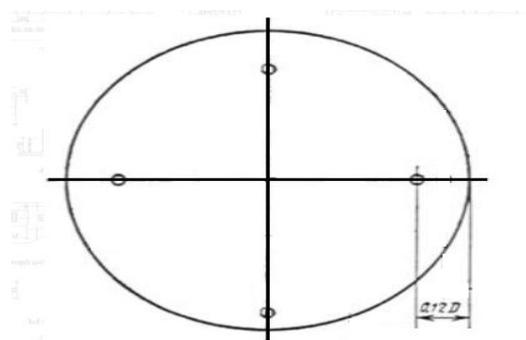


Рисунок 89 – Схема тарировки живого сечения воздуховода круглого сечения по ГОСТ

12.3.018

Измерение скоростей на оси вытяжного устройства, а также движения в воздуховоде рекомендуется осуществлять с помощью анемометра с подключаемым зондом с параметрами не ниже указанных в таблице 14.

Отчетность по результатам промышленных испытаний.

В результате промышленного испытания составляется акт об испытании по форме, приведенной в таблице 13 с указанием:

- Наименования оборудования, стола для плазменной резки с указанием габаритных размеров раскроечного стола и высоты ламелей;
- Расход воздуха;
- Осевая скорость воздуха на участке (указывается наименование участка);
- Коэффициент эффективности действия местного отсоса;
- Скорость воздуха в рабочей зоне сечения;
- Скорость воздуха в воздуховоде.

Таблица 13- форма сведений, вносимых в акт об испытании конкретного образца вытяжного устройства

№п.п.	Наименование	Расход воздуха $Q \text{ м}^3/\text{ч}$	Осевая скорость воздуха на участке V_{oc} м/с	Коэффициент эффективности действия местного отсоса η	Скорость воздуха в рабочей зоне сечения $V_{ж.с.}$ м/с	Скорость воздуха в воздуховоде $V_{ж.с.вв}$ м/с
1	2	3	4	5	6	7

Таблица 14- Параметры анемометра АТЕ 1034

Габаритные размеры прибора: 203x76x38 мм
Параметры зонда: диаметр головки зонда: 12 мм; длина телескопического зонда: 280...940 мм; длина провода, соединяющего зонд с прибором: 1,5 м
Дисплей: ЖК размером 52x38 мм
Использование SD-карт объемом от 1 до 16 ГБ (рекомендовано до 4 ГБ)
Поддерживаемые интерфейсы: Последовательный интерфейс RS232 с возможностью подключения к ПК через порт USB с помощью преобразователя интерфейса ACE-1025 и широкой программной обработкой данных с помощью программ АТЕ Easy Monitor (ATEEM) и Data Logger Monitor (ADLM-W) на ПК с использованием ОС Windows или Smart Data Monitor

(ASDM) и Smart Data Logger (ASDL) для планшетов и мобильных устройств с ОС Android.	
Питание: 6 батареек типа АА 1,5 В	
Измерение скорости воздушного потока:	диапазон: 0,2...25,0 м/с разрешение: 0,01 м/с (0,2...5 м/с); 0,1 м/с (5,1...25 м/с) единицы измерения: м/с, км/ч, миль/ч, узлы, футы/мин погрешность измерения: ± (5% изм.значения + 0,1 м/с)
Измерение температуры воздушного потока:	диапазон: 0...50 °С разрешением: 0,1 °С единицы измерения: °С и °F погрешность измерения: ±0,8 °С

5.2. Инженерная методика подбора местного отсоса

Существующие методики подбора устройств локальной вытяжной вентиляции для удаления вредных веществ, образующихся при плазменной резке металлов, отталкиваются от конкретных типоразмеров и моделей вытяжных столов вместе с тем в литературе не приводятся методики подбора локальных вытяжных устройств, применяемых для порталных машин для плазменной резки металлов с удалением из нижней зоны реза.

Для подбора локального вытяжного устройства для порталной машины для плазменной резки металлов с учетом полученных ранее результатов исследований для определения требуемого расхода воздуха предлагается следующая последовательность подбора:

1. Исходя из режима резки металла для диктующей вредности определяем выделение вредного вещества, г/с;

$$G = \frac{q * l}{3600} \quad (33)$$

где:

q – удельное выделение вредности при резке металла для установленной технологической операции, г/м;

l – длина реза, м

2. Для удаления вредностей из рабочей зоны для соблюдения значения ПДК используя уравнение (26) а также используя график на рисунке 87 для определения требуемого количества удаляемого воздуха при заданном значении расстояния, от источника вредных выделений учитывая нормативные требования по скорости в зоне плазменного реза (1,8-2 м/с) получают требуемое значение расхода удаляемого воздуха в м³/с;

3. Определяется предельная (максимальная) концентрация вредности в удаляемом воздухе рабочей зоны для обрабатываемого металла при заданном режиме, мг/м³

$$\Delta C_i = \frac{G}{Q} \quad (34)$$

где:

G – выделение вредного вещества, г/с;

Q – производительность отсоса определяемая из выражения, м³/с

$$0,01 * Q - 7,5 = \frac{V}{0,765337 * (0,2 * L - 5)} \quad (35)$$

3. Вычисляется относительная предельная избыточная концентрация примесей в воздухе, удаляемых отсосом, соответствующая режиму предельного улавливания;

$$\Delta C_{\text{спр. п. из}} = \frac{\Delta C_i}{(\text{ПДК} - C_{\text{пв}})} \quad (36)$$

где:

ПДК - предельная допустимая концентрация вредности в воздухе рабочей зоны, мг/м³;

ΔC_i - предельная концентрация вредности в удаляемом воздухе рабочей зоны для обрабатываемого металла при заданном режиме, мг/м³;

C_{пв} - концентрация вредности, определяемая по формуле (37)

$$C_{\text{пв}} \leq 0,3 \text{ ПДК} \quad (37)$$

4. Определяется значение безразмерного комплекса Мп

$$M_{\text{п}} = \frac{(G_{\text{п}})}{(G)} * \Delta C_{\text{спр. п. из}} - \frac{(Q_{\text{в}})}{(Q)} \quad (38)$$

где:

$\Delta C_{\text{спр. п. из}}$ – относительная предельная (максимальная) избыточная концентрация примесей в воздухе, удаляемом отсосом, соответствующая режиму предельного улавливания;

G – количество вредных выделений при заданном режиме резки металла мг/с;

$G_{\text{п}}$ – количество рассредоточенных вредных выделений при заданном режиме резки металла приходящееся на верхнюю зону резки металла мг/с;

Q – требуемый расход воздуха локальной вытяжной вентиляцией м³/с;

$Q_{\text{в}}$ – расход воздуха общеобменной вентиляцией, приходящийся на 1 отсос м³/с

5. Пользуясь графиком на рисунке 90 определяется значение эффективности улавливания вредных веществ $\eta_{\text{от}}$ и соответствующее значение K_{η} .

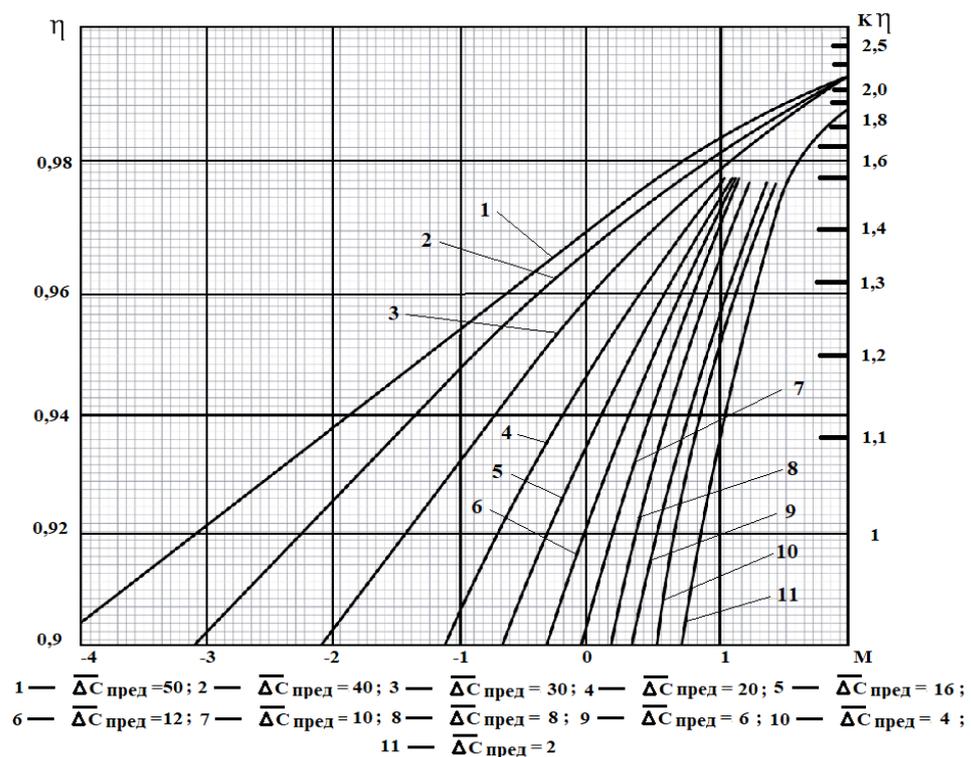


Рисунок 90- График определения значений $\eta_{\text{от}}$ и K_{η}

6. Используя полученное значение K_{η} определяется требуемая производительность отсоса $Q_{\text{от.п}}$, м³/с обеспечивающая требуемую эффективность улавливания вредных веществ вычисляется по формуле:

$$Q_{от.п} = K\eta * Q \quad (39)$$

где:

K_η -коэффициент учитывающий влияние требуемой эффективности улавливания вредных выделений на расход воздуха, удаляемого отсосом;

Q -требуемый расход воздуха, м³/с

7. Используя полученное значение $\eta_{от}$ определяется значение уловленных выделений G_y , мг/с в воздухе, удаляемом местным отсосом по формуле:

$$G_y = \eta_{от} * G \quad (40)$$

где:

$\eta_{от}$ –коэффициент эффективности действия местного отсоса;

G –количество вредных выделений при заданном режиме резки металла, мг/с

8. Используя полученные значения требуемой производительности и количества уловленных частиц, определяется концентрация вредных веществ $G_{уд}$, мг/м³ в воздухе, удаляемом отсосом определяется по формуле:

$$G_{уд} = \frac{G_y}{Q_{от.п}} \quad (41)$$

где:

G_y - количество уловленных выделений в воздухе удаляемом местным отсосом, мг/с;

$Q_{от.п}$ - требуемая производительность отсоса обеспечивающая требуемую эффективность улавливания вредных веществ, м³/с.

5.3 Исследование запыленности воздушной среды

Для оценки эффективности работы промышленного образца устройства в условиях производства применялся весовой метод оценки запыленности помещения суть которого заключалась в определении концентрации пыли в воздухе рабочей зоны при помощи отбора проб воздуха и пропускании их через специальный фильтр, и определении весовой разницы между фильтрами, через

которые пропускался воздух до начала плазменной резки и в процессе производства технологических операций.

В производственных условиях одним из основных способов определения общей запыленности производства является весовой метод определения концентрации запыленности в рабочей зоне. Проба воздуха отбирается на рабочем месте, в месте (источнике) образования пыли, путем аспирации в рабочей зоне - пространстве высотой 1,5-2 метра от уровня пола помещения.



Рисунок 91 – Общий вид стенда

Для отбора проб используются специальные устройства - аспираторы, представляющие из себя компрессор, осуществляющий забор воздуха из окружающего пространства тем самым прокачивая воздух через установленные в устройство фильтры. В результате отбора проб и взвешивания фильтров по разнице значений устанавливается показатель запыленности в рабочей зоне.

Для проведения замера применялся ротационный аспиратор марки 822, фильтры для весового метода определения концентрации пыли АФА-ВП-20, а также адаптер для размещения и закрепления фильтра АФА-ВП-20 типа ИРА. Аспиратор 822 обеспечивает одновременный отбор 2 проб через ротаметры с расходом воздуха до 20 л/м при закрытом разгрузочном клапане и представляет собой устройство, состоящее из 4 ротаметров с регуляторами расхода, коллектора с системой патрубков, электродвигателя и воздуходувки с системой смазки. Все узлы смонтированы на металлическом шасси. Принцип работы

аспиратора заключается в следующем при пропускании воздуха через фильтры с определенной скоростью воздух оставляет на них содержащиеся примеси. Зная скорость прохождения воздуха через фильтр и время его прохождения определяется объем воздуха прошедший через фильтр.



Рисунок 92 – Аспиратор марки 822

Определив количество примесей в фильтре, определяется количество примесей в единице объема воздуха.

Применяемые в весовом методе фильтры аналитические фильтры аэрозольные (АФА-ВП) выполненные из фильтрующего полотна Петрянова (ФПП) с высокими характеристиками по улавливанию пыли. В маркировке АФА-ВП-20 цифра 20 означает площадь фильтрующей поверхности в сантиметрах квадратных. Фильтры поставляются с индивидуальными бумажными держателями.

Для определения запыленности воздуха в рабочей зоне при плазменной резке металла (стальной заготовки толщиной 10 мм) на штатив, прикрепленный к раскроечному столу на высоте 1,5 м от уровня пола размещался аспиратор модели 822 с подсоединенными через кислородные шланги к реометрам держателями фильтров типа ИРА-20, с установленными в держателях фильтрами типа АФА-ВП 20. После установки аспиратора на штатив первый включался в работу на двух реометрах с установленным расходом воздуха 20 л/мин на каждом, на 17 минут.

Перед каждым замером на всех режимах перед установкой в фильтродержатели ИРА-20 фильтры АФА-ВП-20 взвешивались на весах с точностью до 0,001 грамма, с последующим усреднением значений по результатам замеров. Количество проб, отобранных для определения запыленности рабочей зоны без плазменной резки и с производством плазменной резки - по 3 для каждого режима.

После осуществлялись замеры с производством плазменной резки, для этого к плазморезу марки CUT40 mos фирмы TAVR с подключенным к нему компрессором марки КМП-400/50 фирмы Вихрь.



Рисунок 93 – плазморез TAVR марки CUT40 mos фирмы TAVR и компрессор марки КМП-400/50 фирмы Вихрь

на режим работы: Ток $I = 22,5$ А, расход воздуха - 400 л/м производился рез стальной пластины толщиной 10 мм расположенной на раскроечном столе.

Вытяжное устройство, установленное на режим работы $Q = 400$ м³/ч, позиционировалось под заготовки на расстоянии 15 см от нее.



Рисунок 94 – Расстояние от плоскости реза до диффузора-ограничителя

После включения в работу aspirатора производился рез заготовки с первоначальным пробитием "на отходе". Рез осуществлялся в интервале: 5 минут разрезание заготовки, 1 минута перерыв - суммарно 17 минут. Для опыта принималась технологическая операция по выполнению плазменного реза заготовки на длину $l=15$ см.

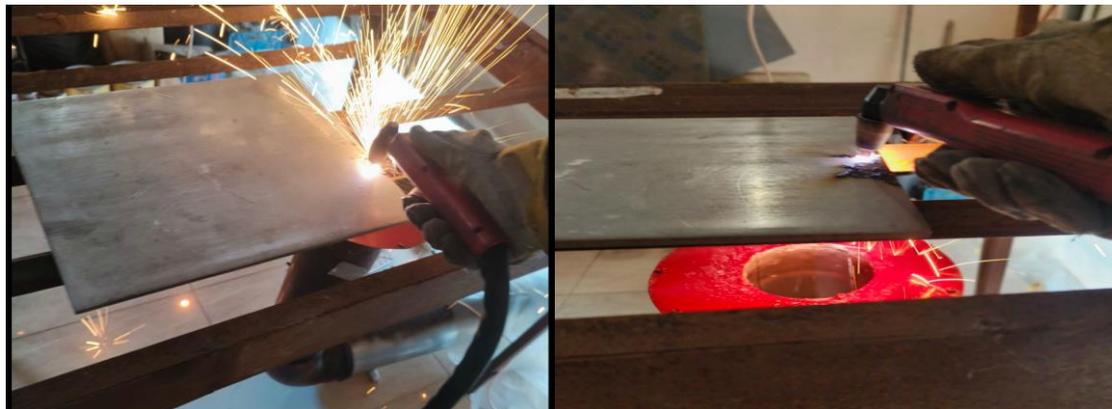


Рисунок 95 – Процесс пробития и реза заготовки

После проведения замеров по определению веса каждого фильтра и усреднения значений вычисляется объем воздуха в m^3 прошедшего через фильтры по формуле:

$$V = \frac{Q_v * \tau}{1000} \quad (42)$$

где:

Q_v – расход воздуха при отборе пробы, л/м;

τ – время прокачки воздуха через фильтр

Далее полученное значение и приводится к нормальным условиям по формуле:

$$V_o = \frac{273 * V * H}{(273 + t) * H_o} \quad (43)$$

где:

t – температура окружающей среды, C° ;

H – барометрическое давление, мм. рт ст;

H_o – значение атмосферного давления, равное 101325 Па;

Вычисляется значение концентрации пыли в исследуемом воздухе mg/m^3 :

$$q_o = \frac{(G_2 - G_1)}{V_o} \quad (44)$$

где:

G_2 – вес фильтра после прокачки через него воздуха, мг;

G_1 – вес фильтра до прокачки через него воздуха, мг;

Результаты замеров для заданного режима при производстве технологической операции сведены в таблицу 15.

Таблица 15- Результаты определения запыленности помещения

Определение запыленности помещения до плазменной резки				Определение запыленности помещения после плазменной резки			
1		2		3		4	
Масса фильтра до замера, г		Масса фильтра после замера, г		Масса фильтра до замера, г		Масса фильтра после замера, г	
фильтр 1	фильтр 2	фильтр 1	фильтр 2	фильтр 1	фильтр 2	фильтр 1	фильтр 2
0,1030	0,0965	0,1096	0,1093	0,091	0,099	0,103	0,105
Разница в весе фильтров до и после аспирации воздуха при соответствующих вариантах определения запыленности помещения, г							
0,0066 / 0,012				0,012 / 0,006			
Запыленность помещения до плазменной резки, мг/м ³				Запыленность помещения после плазменной резки, мг/м ³			
0,0311				0,0289			

Разница значений запыленности до и после выполнения технологической операции составляет 0,0022 мг/м³. Таким образом при сравнении показателей запыленности в помещении до производства плазменной резки и после установлено снижение запыленности помещения при применении локального вытяжного устройства предложенной конструкции.

5.4. Техничко-экономическое обоснование

Для оценки экономической эффективности внедрения вытяжного устройства предложенной конструкции применялся метод сравнения вентиляционных установок затрат на их внедрение учитывая сведения, изложенные в [102-105] и эксплуатацию учитывая требования документации [106-109], а также определение сроков окупаемости в сопоставимых условиях, а именно сравнение установки с секционным вытяжным столом как наиболее распространённого решения, представленного на рынке и вытяжного устройства предложенной конструкции. Данный подход позволяет оценить стоимость элементов вентиляционной установки и сопоставить требуемые затраты при вводе в эксплуатацию установки и затраты при дальнейшей эксплуатации сравниваемых вариантов.

Для оценки экономических затрат принимались 2 системы: система с секционным вытяжным столом включающая в себя вытяжной секционный стол с системой управления, систему воздуховодов, вентилятор и промышленную фильтровальную установку, и систему с локальным вытяжным устройством предложенной конструкции включающую в свой состав коаксиальное вытяжное устройство, систему управления и позиционирования, систему воздуховодов, вентилятор и промышленную фильтровальную установку.

Схема методического подхода представлена на рисунке 96.



Рисунок 96 – Методический подход оценки эффективности

Для оценки эффективности внедрения вытяжного устройства предложенной конструкции целесообразно сравнить капитальные и эксплуатационные затраты, а также оценить срок окупаемости систем.

Стоимость компонентов (расходных материалов, рабочих операций, стоимость готовых конструкций) для сопоставляемых систем принята по ценовой информации в соответствии с п. 2 статьи 22 Федерального закона "О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд" от 05.04.2013 № 44-ФЗ [110] методом анализа ценовой информации из открытых источников, складываются из стоимости элементов системы для установки с локальным вытяжным устройством предложенной конструкции, состоящей из воздуховодов и фасонных частей, вентилятора, фильтровентиляционной установки, системы управления и раскроечного стола - система С1, а также системы с раскроечным столом и включающей в себя стол с секционным местным отсосом для системы С2. С учетом положений Приказа Минстроя России от 04.08.2020 N 421/пр "Об утверждении Методики определения сметной стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, сноса объектов капитального строительства, работ по сохранению объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации на территории Российской Федерации" [111].

Оценка затрат на основные средства (оборудование) осуществлялась на основании анализа ценовой информации при помощи метода анализа рынка.

Для оценки затрат на монтаж систем применялись расценки соответствующих сметных нормативов, федеральных единых расценок для соответствующих статей затрат на монтаж основанного, вспомогательного оборудования и воздуховодов. Затраты на монтажные работы по прокладке воздуховодов и на работы по установке фильтровентиляционных установок для очистки выбросов принимались согласно, работ по установке вентиляторов радиальных по ФЕР 81-02-20-2001, затраты на работы по установке станков для

плазменной резки принимаются по ФЕРм 81-03-01-2001 [112] Ч.1 Metalлообрабатывающее оборудование. При этом учитывались коэффициенты перевода из базовых цен в текущие (индекс изменения сметной стоимости монтажных работ на системы согласно принятых расценок в соответствии с письмами Минстроя РФ.

Капитальные затраты для каждой системы определяются как сумма капитальных вложений в каждый элемент системы, а именно как сумма затрат на основные средства (оборудование) и затрат на монтаж каждого элемента.

$$S = S_K + S_P \quad (45)$$

где:

S_K - сумма затрат на основные средства (оборудование);

S_P - сумма затрат на монтаж каждого элемента системы.

Затраты на основные средства (оборудование) определяются как сумма затрат (стоимость) на каждый элемент системы.

$$\sum S_k = S_{k1} + S_{k2} + \dots S_{ki} \quad (46)$$

где:

S_{ki} -стоимость i -того компонента системы.

Затраты на монтаж оборудования определяются как сумма затрат (стоимость) монтажа каждого элемента системы.

$$\sum S_p = S_{p1} + S_{p2} + \dots S_{pi} \quad (47)$$

где:

S_{pi} -стоимость монтажа i -того компонента системы.

Эксплуатационные затраты определяются как сумма затрат на ресурсы необходимые для функционирования системы, а также амортизационные затраты связанные с функционированием системы (ее износом).

$$\sum G_{\text{экс}} = G_1 + G_2 + \dots G_i \quad (48)$$

где:

G_1 - затраты на электрическую энергию для работы вытяжной системы;

G_2 - затраты на амортизацию основных средств (оборудования).

Затраты на электроэнергию для работы вытяжной системы определяются исходя из установленного тарифа на электрическую энергию [113], времени эксплуатации системы и установленной электрической мощности оборудования (вентилятора, фильтровальной установки, системы управления установкой).

$$G_1 = N + c + Z \quad (49)$$

где:

N- установленная мощность оборудования;

c- установленный тариф на электрическую энергию;

Z- время работы оборудования определяемое как произведение количества смен, день/год на продолжительность работы оборудования в смену, час/день.

Затраты на амортизацию основных фондов определяются как отношение капитальных затрат к сроку полезного использования системы.

$$G_2 = \frac{K}{T} \quad (50)$$

где:

K- капитальные затраты на устройство вентиляционной системы;

T- срок полезного использования, принимаемый 5 лет.

Срок окупаемости для каждой системы определяется как отношение капитальных затрат к чистой прибыли, определяемой как принятый норматив на единицу реза по ФЕР 09-05-007 на 100 м реза за расчетный период равный рабочей смене, за вычетом эксплуатационных затрат.

$$T_{c1} = \frac{K_1}{I * Z_p - (\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1)}; \quad T_{c2} = \frac{K_2}{I * Z_p - (\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1)} \quad (51)$$

где:

K- капитальные затраты на устройство соответствующей вентиляционной системы;

I- норма прибыли на 100 м реза металла;

Z_p- время рабочей смены;

Э- эксплуатационные затраты соответствующей системы.

Экономическая эффективность внедрения системы определяется как отношение капитальных затрат системы к принятой стоимости единицы продукции для принятой за базовую и внедряемой системы и определяется по формуле:

$$Э_{эф} = \frac{П}{S} \quad (52)$$

где:

П- стоимость единицы продукции, принимаемая по ФЕР 09-05-007 на 100 м резка, руб;

S- капитальные затраты на устройство соответствующей вентиляционной системы, руб.

5.5. Определение капитальных, эксплуатационных затрат и срока окупаемости при внедрении вентиляционной системы с коаксиальным вытяжным устройством по сравнению с секционной вытяжной установкой

По приведенному ранее методическому подходу были определены капитальные, эксплуатационные затраты и сроки окупаемости при внедрении локальной вентиляционной системы с коаксиальным вытяжным устройством предложенной конструкции по сравнению с секционной вытяжной установкой.

Таблица 16- Затраты на устройство соответствующих вытяжных систем

Затраты на устройство системы с ЛВУ предложенной конструкции, тыс. р.			Затраты на устройство системы с секционным вытяжным столом, тыс. р.	
1	2	3	4	5
№ п.п.	Наименование	Стоимость	Наименование	Стоимость
1	Воздуховоды	7,8	Воздуховоды	18,6
2	Фасонные части	1,26	Фасонные части	19,8
3	Вентилятор ВЦ-14-46-2	10,6	Вентилятор ВЦ-14-46-4	33,7
4	ФВУ-1 СФ	160,0	ФВУ-9	600,0

5	Раскроечный стол	75,0	Раскроечный стол с секционной вытяжкой СПР-03	250,0
6	Монтажные работы	65,0	Монтажные работы	125,0

Экономическая эффективность внедрения системы С1 составила 311860,07 руб., экономическая эффективность внедрения системы С2 составила 1028500,03 руб., таким образом на единицу продукции для системы С1 приходится 311860,07 руб. капитальных затрат, что на 229,79% меньше по сравнению с системой С2.

Итоги, отражающие капитальные и эксплуатационные затраты, а также сроки окупаемости для систем С1 и С2 представлены на рисунках 91-93.

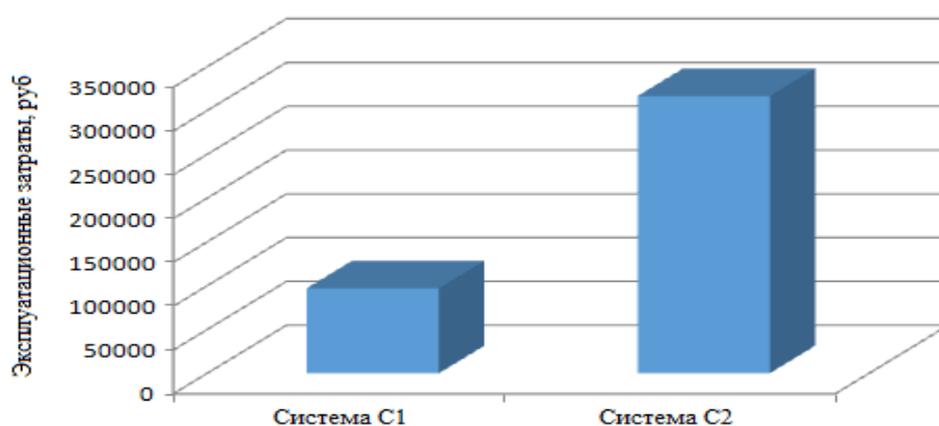


Рисунок 97- График сравнения эксплуатационных затрат систем С1 и С2

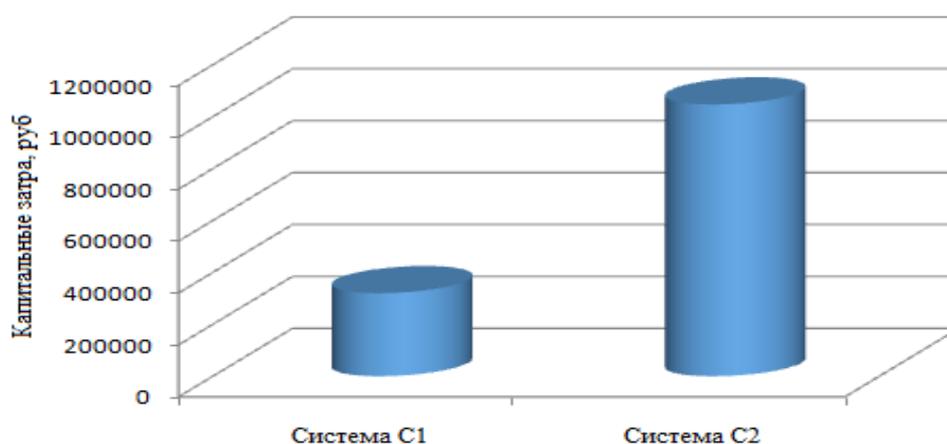


Рисунок 98- График сравнения капитальных затрат систем С₁ и С₂

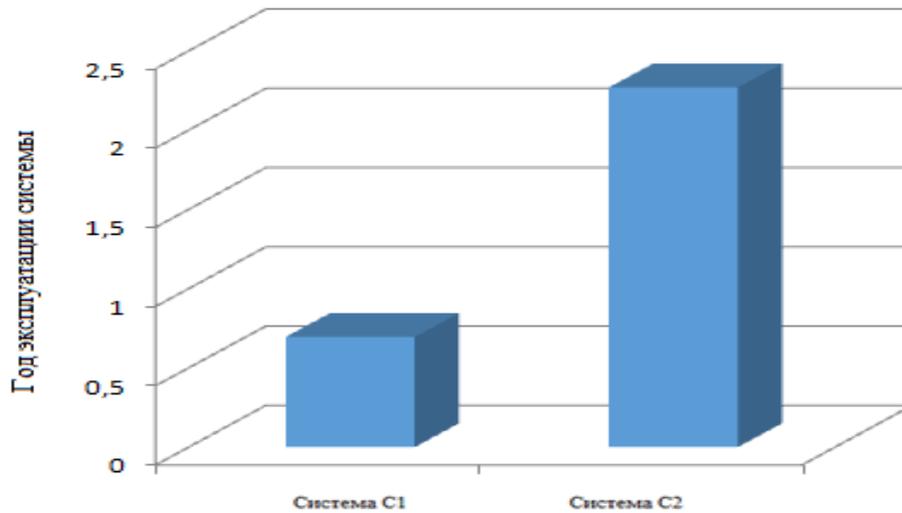


Рисунок 99- График сравнения сроков окупаемости при внедрении систем C₁ и C₂

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод о значительной экономии капитальных и эксплуатационных вложений при внедрении локальной вытяжной системы с коаксиальным вытяжным устройством для соответствующих режимов эксплуатации. Кроме того, значительная экономия капитальных вложений (в 2-3 раза) по соответствующим статьям затрат позволяет в более сжатые сроки выйти на окупаемость при внедрении системы.

5.6. Выводы по главе 5.

1. Уточнена методика инженерного подбора локального вытяжного устройства предложенной конструкции.
2. Уточнена методика проведения промышленного испытания для локального вытяжного устройства предложенной конструкции, которая позволяет определить соответствие характеристик испытуемого образца заявленным для систем удаления воздуха.
3. Сформулирован методический подход к определению экономической эффективности внедрения системы местной вытяжной вентиляции для локальной вытяжной установки с локальным вытяжным устройством предложенной конструкции.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании анализа литературных источников и систематизации существующих в сварочном производстве способов и средств локализации, удаления и улавливания выделяющихся вредностей выявлены пути повышения эффективности их работы на постах плазменной резки, что позволило предложить новый конструктивный подход к взаимодействию факела отсоса и приточной струи.

2. Разработана цифровая и натурная модель вытяжного устройства локальной вентиляции, установлены параметры, оказывающие влияние на характер потоков, образованных радиальными и всасывающим факелом вытяжного устройства.

3. На основании проведенных экспериментального и теоретического исследования всасывающих факелов коаксиального вытяжного устройства, ограниченного раздающим радиально направленным потоком впервые определены значения осевых скоростей при различных расходах воздуха с рациональным соотношением расходов β для запатентованной конструкции местного отсоса.

4. В результате численного моделирования выявлено, что для значений соотношения потоков $\beta = 0,8-1$ достигается отсутствие негативных факторов взаимодействия струй при формировании приточного потока воздуха в виде радиальной веерной струи. Также определено, что схемы, при которых значения соотношений потоков при $\beta > 1$, приводят к несколько большей стабилизации потока, а угол раскрытия отсекающего радиального потока приближается к 90° .

5. Выявлено, что для компоновочных решений установок для локальной вытяжной вентиляции значение β не целесообразно корректировать в сторону увеличения для устройств с одним побудителем на подающий и всасывающий поток. При этом, определен диапазон варьирования соотношений расходов воздуха на формирование ограничивающей струи, равный $0,8 \leq \beta \leq 1$.

6. Получено подтверждение экспериментальных данных, полученное при моделировании воздействия всасывающего и радиально направленного ограничивающего потока.

7. Получены геометрические параметры устройства, при которых достигается улучшение условий действия всасывающего потока.

8. Проведено теоретическое исследование всасывающего факела коаксиального вытяжного устройства, ограниченного раздающим радиальнонаправленным потоком.

9. Предложены конструктивные решения вытяжного устройства локальных систем вентиляции для удаления вредных выделений при плазменной обработке металлов, позволяющие улучшить условия труда (патент №207 611).

10. На ряде предприятий Республики Крым результаты диссертационной работы приняты к внедрению. Результаты исследований использованы в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлению 2.1.3. - "Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение".

Техническое решение по локальному вытяжному устройству предложенной конструкции, уточненная методика подбора и испытаний устройства, и методический подход к определению экономической эффективности внедрения локального вытяжного устройства предложенной конструкции приняты к внедрению для применения и эксплуатации в учреждениях Республики Крым (ГКУ РК «Вспомогательная Служба УД ГС РК», Управление делами ГС РК).

Результаты теоретических и экспериментальных исследований диссертационной работы **рекомендуются** для внедрения производственным организациям занятых обработкой металлов при помощи технологии плазменной резки.

Перспективы дальнейших исследований направлены на повышение эффективности устройства за счет оптимизации конструкции путем применения метода профилирования, а также исследование взаимодействия завихренного

всасывающего потока воздуха с ограничивающей радиальной приточной струей, изменение осевой скорости и эффективности улавливания вредностей при изменении соотношения потоков $\beta > 1$ при продолжительном перемещении соосно расположенного источника вредностей и всасывающего потока образованного устройством предложенной конструкции, применении предложенного устройства в иных производственных процессах, таких как кислородная резка, лазерная резка, сварочное производство, исследование предложенной конструкции устройства для применения в системах общеобменной вентиляции жилых, общественных и производственных зданий с целью улучшения параметров микроклимата помещений различного назначения, а также использование предложенного устройства в технологических процессах на объектах промышленности.

7. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Моделирование процесса	
α	– коэффициент теплоотдачи, Вт/(м В· К);
k	– коэффициент теплопередачи, Вт/(м В· К);
$\lambda_{ст}$	– коэффициент теплопроводности материала стенки, Вт/(м В· К);
c'	– постоянный коэффициент, определяющий число Нуссельта;
Δt	– температурный напор, °С;
$\eta_{тв}$	– коэффициент, учитывающий потери тепла в окружающую среду;
t	– время, сек;
u	– скорость текучей среды, м/с;
ρ	– плотность текучей среды, кг/м ³ ;
P	– давление текучей среды, Па;
S_i	– внешние массовые силы, которые действуют на единичную массу текучей среды;
$S_{iporous}$	– действие сопротивления пористого тела;
$S_{igravity}$	– действие гравитации;
$S_{irotation}$	– действие вращения системы координат;
E	– полная энергия единичной массы текучей среды, Дж;
Q_H	– тепло, выделяемое тепловым источником в единичном объеме текучей среды, Вт · ч;

τ_i	– тензор вязких сдвиговых напряжений;
q_i	– диффузионный тепловой поток, Вт/мВ ;
μ	– коэффициент динамической вязкости, Па · с;
c	– коэффициент турбулентной вязкости;
δ_{ij}	– дельта-функция Кронекера;
k	– кинетическая энергия турбулентности;
g_i	– составляющая гравитационного ускорения в координатном направлении;
v	– скорость воздуха в заданной точке, м/с;
Q_{B1}	– расход воздуха на формирование ограничивающего потока, м ³ /ч;
Q_{B2}	– расход удаляемого воздуха, м ³ /ч;
β	– коэффициент учитывающий соотношение всасывающего и ограничивающего потока коаксиального вытяжного устройства предложенной конструкции;
Y_j	– значения оценок отклика, найденные по модели, м/с;
Y_{jn}	– значения результатов опытов;
m^*	– число повторяющихся опытов;
y_j	– среднее значение результатов каждой серии проведенных опытов;
$\sum S^2$	– сумма построчных (выборочных) дисперсий;
$G_{\text{теор}}$	– критерий Кохрена теоретический;
$G_{\text{эксп}}$	– критерий Кохрена экспериментальный;

$S_{j\max}^2$	–значения максимальной дисперсии;
S^2	–сумма построчных дисперсий;
$y^{i \times j}$	–значения построчных значений опытов и средних значений опытов для количества опытов равному трем
n	–число взаимодействий (опытов) для двухфакторного ПФЭ;
$S_{\text{восп}}^2$	–дисперсия (отклика) воспроизводимости;
S_{2b}	–дисперсия коэффициентов уравнения регрессии;
$L_{\text{ос}}$	–осевое расстояние от источника вредных выделений, см;
L	–расход воздуха, м ³ /ч;
S	–площади живого сечения воздуховода, м ² ;
V	–скорость воздуха в живом сечении воздуховода полученная по результатам измерений, м/с;
D	–диаметр воздуховода, мм;
$V_{\text{ос}}$	–заявленное значение осевой скорости, м/с;
$V_{\text{ос. экс.}}$	–значение осевой скорости, полученное по результатам замеров, м/с;
$D_{\text{г}}$	–гидравлический диаметр, мм;
P	–периметр сечения воздуховода, м;
ΔC_i	– предельная (максимальная) концентрация вредности в удаляемом воздухе рабочей зоны для обрабатываемого металла при заданном режиме, мг/м ³ ;
G	–количество вредных выделений при заданном режиме резки металла, мг/с;
$\Delta C_{\text{спр. п. из}}$	–относительная предельная (максимальная) избыточная концентрация примесей в воздухе, удаляемом отсосом, соответствующая режиму предельного улавливания;

ПДК	–предельная допустимая концентрация вредности в воздухе рабочей зоны, мг/м ³ ;
$C_{ПВ}$	–концентрация вредности;
$Q_{о.в.}$	–производительность отсоса, м ³ /с;
$M_{П}$	–безразмерный комплекс;
$G_{П}$	–количество рассредоточенных вредных выделений при заданном режиме резки металла, мг/с;
$Q_{В}$	–расход воздуха общеобменной вентиляцией, приходящийся на 1 отсос, м ³ /ч;
$\eta_{от}$	–значение эффективности улавливания вредных веществ (коэффициент эффективности действия местного отсоса);
K_{η}	–коэффициент, учитывающий влияние требуемой эффективности улавливания вредных выделений на расход воздуха, удаляемого отсосом;
$Q_{от.п.}$	–требуемая производительность отсоса обеспечивающая требуемую эффективность улавливания вредных веществ, м ³ /с;
$G_{у}$	–значение уловленных выделений в воздухе, удаляемом местным отсосом, мг/с;
$G_{уд}$	–концентрация вредных веществ в воздухе, удаляемом отсосом, мг/м ³ ;
Δb_i	–значение доверительного интервала;
k	–число факторов при многофакторном эксперименте;
$\sum_{j=1}^n (y - j_* y^j)^2$	–сумма квадратов разностей среднего значения измерений полученных при проведении опытов и значения отклика полученного по результатам построения модели;
t	–коэффициент Стьюдента, определяемый по доверительной вероятности и числу степеней свободы;
$S_{(bi)}$	–ошибка коэффициентов регрессии;

$S_{ад}^2$	–дисперсия адекватности;
$F_{эксп}$	–экспериментальное значение критерия Фишера;
α	–допустимая погрешность измерений;
$V_{ос}$	–осевой скорости всасывающего факела, м/с;
Q	–требуемый расход воздуха локальной вытяжной вентиляцией, м ³ /ч;
Технико-экономическое обоснование	
Z	–время работы электрооборудования, час/год;
Z_p	–время рабочей смены;
N	–установленная мощность оборудования, кВт;
S_p	– стоимость работ по монтажу i -той системы, руб.;
S_k	– стоимость готовых конструкций и оборудования, входящих в i -тую систему, руб.;
G	– эксплуатационные затраты, руб;
G_1	– эксплуатационные затраты на электроэнергию, руб/год;
G_2	– амортизационные отчисления, руб/год;
c	– тариф на электроэнергию, руб/кВт;
S	– капитальные затраты, руб.;
T	–срок полезного использования, лет.;
I	–норма прибыли, руб;
T_{ci}	–срок окупаемости системы, лет.;
$\mathcal{E}_{эф}$	– коэффициент экономической эффективности системы;

8. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бутов А.М. Рынок продукции станкостроения //Официальный сайт Национального исследовательского университета "Высшей школы экономики" - Институт "Центр развития", 2020. — С.1-4 URL: <https://dcenter.hse.ru/data/2020/11/07/1361776905/Рынок%20продукции%20станкостроения-2020.pdf> (дата обращения 24.07.2024).

2. Концепция ускоренного экспортного развития станкостроительной отрасли на 2018-2025 годы разработанная в рамках реализации национального проекта "Международная кооперация и экспорт в промышленности": Распоряжение Правительства Российской Федерации от 5 ноября 2020 г. № 2869-р// Официальный сайт Правительства Российской Федерации РФ. 2020, — С.8-11URL: <http://static.government.ru/media/files/NyeLKqLhrJrydnGRBm39nHl0hJNOzHzQ.pdf>. (дата обращения 24.07.2024).

3. Основные направления деятельности Правительства Российской Федерации на период до 2024 года// Официальный сайт Правительства Российской Федерации. - Москва, 2018 — С.16 URL: <http://static.government.ru/media/files/ne0vGNJUk9SQjlGNNsXlX2d2CpCho9qS.pdf>. (дата обращения 24.07.2024).

4. Трудовой кодекс Российской Федерации: [федер. Закон: принят Гос Думой 30 декабря 2001 г.]. - М. АО Кодекс, 2001—ст.266.

5. *Куликов, О.Н.* Охрана труда в металлообрабатывающей промышленности: учеб. пособие для нач. проф. образования / О. Н. Куликов, Е. И. Ролин.— М.: Издательский центр «Академия», 2012 г. — 225 с.

6. ГОСТ 12.3.039-85 ССБТ "Плазменная обработка металлов. Требования безопасности"/Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 1986. — С.5 URL:<https://protect.gost.ru/v.aspx?control=8&baseC=->

1&page=0&month=-1&year=1&search=&RegNum=1&DocOn PageCount=15
&id=134856.

7. Евразийская экономическая комиссия: - Информация о результатах анализа состояния и развития станкостроения в государствах-членах ЕАЭС 2014 г.// Официальный сайт ЕАЭС (Евразийская экономическая комиссия). - Москва, 2014. — С.16 URL: <https://eec.eaeunion.org/upload/medialibrary/918/mashine-tools-report.pdf>.

8. *Миллер, С.А.* Ацетилен, его свойства, получение и применение. Том 1.– Л.: Химия, 1969 г. – 680 с.

9. *Девисилов, В.А.* Охрана труда: учебник. — 3-е изд., испр. и доп.— М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2013 г. — 448 с.

10. *Писаренко, В.Л.* Вентиляция рабочих мест в сварочном производстве. — М.: Машиностроение. 1981г.— 120 с.

11. *Тимофеева, О.Н., Векслер, Г.С.* Местные вытяжные устройства к оборудованию для сварки и резки металлов/ О.Н. Тимофеева, Г.С. Векслер. — Л.: ВНИИ охраны труда ВЦСПС в Ленинграде, 1980г. — 51 с.

12. *Шведов, Е.А.* Система вентиляции рабочего места плазменной резки. — Сварочное производство. № 7. 1979. — 130 с.

13. *Гельберг, Б.Т., Пекелис, Г.Д.* Ремонт промышленного оборудования. — Изд. 9-е, перераб. и доп./ Б.Т. Гельберг, Г.Д. Пекелис. — М.: Высшая школа, 1988 г. — 385 с.

14. *Анахов, С.В.* Принципы и методы проектирования в электроплазменных и сварочных технологиях. — Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2014 г. — 143 с.

15. *Попелюх, А.И.* Перспективные способы обработки материалов / А.И. Попелюх, А.Г. Тюрин, Н.В. Плотникова. — Оренбург: Оренбургский гос. ун-т, 2014. — 47 с.

16. *Алешин, Н.П.* Сварка. Резка. Контроль: Справочник. В 2-х томах. — М.: Машиностроение, 2004. — 624 с.

17. Каталог оборудования для плазменной резки// Зонт URL: http://www.artadmires.com/www/zont/production/dop_oborud/stol/.(дата обращения 10.06.2024).
18. Каталог оборудования для плазменной резки // СТФ Декор-Уфа URL:<https://stanki02.ru/product/ustanovka-plazmennoj-rezki-ankord-plasmatec-6020/> (дата обращения 25.08.2024).
19. Каталог оборудования для плазменной резки // Триинтер URL:<http://www.triinteg.ru/catalog/oborudovanie-dlya-raskroya-metalla-s-chpu/portalnye-mashiny-termicheskoy-rezki/portal-plazmennoj-rezki-s-chpu-tr-hd-1560-2060/>(дата обращения 25.08.2024).
20. Каталог оборудования для плазменной резки // СовПлим URL: <https://sovplym.ru/products/mvs/> (дата обращения 25.08.2024).
21. Инструкция к станкам плазменной резки Старт 2-М. — С.6-9 URL:<https://www.elec.ru/files/2014/04/28/plazmennye-stanki-s-chpu-start2m.pdf> (дата обращения 25.08.2024).
22. Каталог оборудования для плазменной резки // Eckert URL:<https://eckert.ru/nasi-produkty/stanki/sapphire.html> (дата обращения 25.08.2024).
23. Каталог оборудования для плазменной резки // Теплоентмаш URL:<https://teploentmash.ru/plazmennie-stanki/> (дата обращения 25.08.2024).
24. Каталог оборудования для плазменной резки // Радан URL:http://radian.ua/product.php?id_product=22 (дата обращения 25.08.2024).
25. Каталог оборудования для плазменной резки // DURMA URL:https://durma.nt-rt.ru/images/manuals/tch_PL.pdf (дата обращения 25.08.2024).
26. Каталог оборудования для плазменной резки //АМН Инжиниринг URL:<https://amn-stanki.ru/product/oborudovanie-dlya-obrabotki-listovogo-metalla/> (дата обращения 25.08.2024).
27. Руководство к портальной машине плазменного раскроя листового металла с числовым программным управлением STCPLASMA// СТЦ

URL:<https://plasmaenc.ru/wp-content/uploads/2017/11/Passport.pdf> (дата обращения 25.08.2024).

28. Каталог оборудования для плазменной резки // Сибирь URL:<https://sibirsvarka.ru/catalog/kits/komplekt-1/> (дата обращения 25.08.2024).

29. Каталог оборудования для плазменной резки // Портальные машины URL:<https://stanok-squall.ru/stanki/shkval-p> (дата обращения 25.08.2024).

30. Каталог оборудования для систем дымоудаления // ТД САЭМ ПЛАЗМА URL:<https://smolatom.ru/stanok-plazmennoj-rezki/sistemy-dymoudaleniya/> (дата обращения 25.08.2024).

31. Каталог оборудования для плазменной резки // Промышленное оборудование URL:<https://machimpex.org/goods/70825756/portalnaya-ustanovka-plazmennoj-rezki-triumph> (дата обращения 25.08.2024).

32. Каталог оборудования для плазменной резки //Плазмаснаб URL:<https://pierce-russia.ru/mtrm> (дата обращения 25.08.2024).

33. Каталог оборудования для плазменной резки //SPIRO International SA URL: <https://www.spiro.ch/ru/item/plasmacutter-florett> (дата обращения 25.08.2024).

34. Гуцу В. Способ удаления вредностей от мест плазменной резки/ С.А. Егоров, Т.Д. Целый, О.Н. Зайцев, Ю.А. Сиваченко// Научное издание Водоснабжение, водоотведение и системы защиты окружающей среды. XII Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых Статьи и тезисы -Уфа: Изд-во ЦИТО+, 2023. — С. 133-136.

35. *Батурин, В.В.* Основы промышленной вентиляции. — М.: Профиздат, 1990 г. — 448 с.

36. *Соколов, И.И.* Газовая сварка и резка металлов. — М.: Высшая школа, 1978 г. —320 с.

37. *Кортес, А.Р.* Сварка, резка, пайка металлов. — М.: ООО «Арфа СВ», 1999 г. —194 с.

38. *Васильев, К.В.* Плазменно-дуговая резка. / К.В. Васильев // — М.: "Машиностроение", 1974 г.— 111 с.
39. *Ширшов, И.Г.* Плазменная резка/ Ширшов И.Г., Котикова В.Н. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ие, 1987 г.— 192 с.
40. *Малаховский, В.А.* Руководство для обучения газосварщика и газорезчика: Практическое пособие. —М.: Высш. шк., 1990 г.— 303 с.
41. СП 2.2.3670-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда"/ Роспотребнадзор РФ, 2021. — 49 с. URL:https://www.rospotrebnadzor.ru/files/news/SP2.2.3670-20_trud.pdf (дата обращения 25.08.2024).
42. *Куликов, О.Н.* Охрана труда в металлообрабатывающей промышленности. /О.Н. Куликов, Е.И. Ролин. — М.: Академия, 2012 г. — 224 с.
43. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"/ Роспотребнадзор РФ, 2021. —469 с. URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/files/news/GN_sreda%20obitaniya_compressed.pdf (дата обращения 25.08.2024).
44. *Данюшевский, Б.Ю.* Вентиляционные и пневмотранспортные установки в нефтяной промышленности: (Аэродинам. основы расчета). — М.: Машиностроение, 1971 г. — 192 с.
45. *Гримитлин, М. И.* Вентиляция и отопление цехов машиностроительных предприятий / М. И. Гримитлин, Г. М. Позин, О. Н. Тимофеева и др. —Москва: Машиностроение, 1993 г. — 286 с.
46. Рекомендации по расчету отсосов от оборудования, выделяющего тепло и газы АЗ-877 ГОССТРОЙ СССР ГЛАВПРОМСТРОЙПРОЕКТ СОЮЗСАНТЕХПРОЕКТ/ Государственный проектный институт сантехпроект.- Москва: ГПИ Сантехпроект, 1983 — 32 с.

47. *Брауде, М.З.* Охрана труда при сварке в машиностроении / М.З. Брауде, Е.И. Воронцова, С.Я. Ландо и др.—Москва: Машиностроение, 1978г. — 142 с.
48. *Платонов, А.В.* НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Безопасность жизнедеятельности. / А.В. Платонов, Е.Н. Филонин. — Нижний Новгород, 2012 г. — 246 с.
49. *Борскивер, И.А.* Огненная дуга. Воздействие сварочного аэрозоля на организм электросварщика (ручная дуговая сварка). Рекомендации по измерению // Безопасность и охрана труда. - 2011 г.- №2 —С.66-69.
50. ГН 2.2.5.3532-18 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны"/Роспотребнадзор РФ, 2018. — 170 с. URL:https://www.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/00b/gn-2.2.5.3532_18.pdf. (дата обращения 25.08.2024).
51. ГОСТ Р 56164-2014 Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета выбросов при сварочных работах на основе удельных показателей. - М.: Стандартинформ, 2015. — 44 с.
52. *Левченко, О.Г.* Современные средства защиты сварщиков. / О.Г.Левченко, В.А. Метлицкий. —"Экотехнология", 2001 г.— 84 с.
53. *Быканова, А.Ю.* Основы SolidWorks. Построение моделей деталей Учебно-методическое пособие. / А.Ю. Быканова, А.В. Старков. — Владивосток: ДВГТУ, 2009 г. — 120 с.
54. *Алямовский, А.А.* SolidWorks Simulation: Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации. — Москва: ДМК Пресс, 2015г. — 562 с.
55. *Прохоренко, В.П.* SolidWorks Практическое руководство. — Москва: Бином, 2004 г. — 448 с.
56. *Дударева, Н.Ю.* Solidworks 2011 на примерах/ Н.Ю. Дударева, С.А. Загайко. —СПб. БХВ-Петербург, 2011 г. —496 с.

57. *Авраменко, М.И.* "О к-емодели турбулентности" 2-е издание, переработанное и дополненное. — Снежинск: РФЯЦ - ВНИИТФ, 2010 г. — 102 с.

58. *Алямовский, А.А.* SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике. — Санкт-Петербург БХВ -Петербург. - 2005 г.— 1042 с.

59. *Нагорная, А.Н.* Проблемы организации воздухораспределения при вытесняющей вентиляции с переменным расходом воздуха на примере зрительного зала театра /А.Н. Нагорная, Н.С. Морозова. //Вестник ЮУрГУ. Серия: «Строительство и архитектура». -2013. — С.65-66.

60. *Сиваченко, Ю.А* Совершенствование местного отсоса от плазменной резки мелкосерийных деталей // Экономика строительства и природопользования № 4 (81) 2021 г. - Симферополь: Изд-во КФУ им. В.И. Вернадского, 2021. — С. 28-32.

61. *Sivachenko, Yu. A.* Thermodynamic characteristics of the flue gas heat recuperator of a combined autonomous heat generating unit// O. N. Zaycev; S. A. Egorov; I. P. Angeluck; Yu. A. Sivachenko //IOP Conf.Series: IV International Scientific Conference “Investments. Construction. Real Estate: New Technologies and Targeted Development Priorities 2021, 2022. -№ 2434.

62. *Sivachenko, Yu. A.* Thermodynamic characteristics of an autonomous heat recuperator of flue gases of periodic action/ Zaitsev Oleg; Egorov Sergey; Angeluck Pliya; Sivachenko Yuri// IOP Conf. Series: PROCEEDINGS OF THE II SCIENTIFIC CONFERENCE “MODELLING AND METHODS OF STRUCTURAL ANALYSIS, 2023. - № 2497. - page. 29-38.

63. *Зайцев О.Н.,* Исследование активированного радиальной струей всасывающего потока из зоны плазменной резки/ Зайцев О.Н., Сиваченко Ю.А.// Вестник Белгородского государственного университета им. В.Г. Шухова, 2024. - №10. -С.44-52.

64. *Sivachenko Yu. A.* The Study of the Suction Activated by the End Supply Jet from Plasma Cutting Area/ Oleg Zaitsev, Natalia Semicheva, Andrey Ishutin,

Yuri Sivachenko, Sergey Egorov //IOP Conf. Series: Modern Problems in Construction Selected Papers, 2024. - №372.- page. 437-445.

65. *Сиваченко, Ю.А.* Влияние геометрических параметров коаксиального отсоса на характеристики удаляемого потока/ Ю.А. Сиваченко, А.Н. Кабанов, О.Н. Зайцев// Строительство и техногенная безопасность .-2022. №S1.-С 234-238.

66. *Логачев, И.Н.* Аэродинамические основы аспирации: Монография / И.Н. Логачев, К.И. Логачев. — Санкт-Петербург: Химиздат, 2005. — 659с.

67. Сборник материалов Международной конференции студентов аспирантов и молодых учёных «Перспектив-2016», посвящённой Году образования в Содружестве Независимых Государств Красноярск, Сибирский федеральный университет, 2016 г. —С. 4-7.

68. Патент России №2046258F24F Способ локальной вытяжной вентиляции и устройство для его осуществления. /Спотарь С.Ю., Чохар И.А, Лукашов В.В, Прозоров Д.С. //1995. — 8 с.

69. ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения. – М.: Стандартинформ, 2009. — 45 с.

70. ГОСТ 12.3.018-79 ССБТ Системы вентиляционные. Методы аэродинамических испытаний. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. — 11 с.

71. Федеральный закон "Об обеспечении единства измерений": [федер. Закон: принят Гос. Думой 26 июня 2008 г.]. – М.: АО Кодекс, 2008. — 19 с.

72. ГОСТ 8.010-2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. Основные положения. - М.: Стандартинформ, 2019. — 11 с.

73. *Зайдель, А.Н.* Погрешности измерений физических величин.— Л.: Наука, 1985 г. — 110 с.

74. *Рабинович, С.Г.* Погрешности измерений. — Л: Энергия, 1978 г. — 258 с.
75. *Бояршинова, А.К.* Теория инженерного эксперимента: курс лекций / А.К. Бояршинова, А.С. Фишер. — Челябинск: ЮУрГУ, 2006 г. — 85 с.
76. ГОСТ 8.563-96 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. -М.: ИПК Издательство стандартов, 2008. — 7 с.
77. *Хартман, К.* Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. Пер. с нем.—М.: Мир, 1977 г. — 552 с.
78. *Ермаков, С.М.* Математическая теория планирования эксперимента. — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983 г. — 392 с.
79. ГОСТ 24026-80 Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения. -М.: Издательство стандартов, 1991—19 с.
80. *Минько, А.А.* Статистический анализ в MSExcel. — М.: Изд. дом «Вильямс», 2004. — 448 с.
81. *Спирин, Н.А.* Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: Учебное пособие / Н.А. Спирин, В.В. Лавров, Л.А. Зайнуллин, А.Р. Бондин, А.А. Бурыкин. — Екатеринбург: ООО «УИНЦ», 2015 г. — 290 с.
82. *Адлер, Ю.П.* Введение в планирование эксперимента. — М.: Металлургия, 1969 г. — 158 с.
83. *Тюрин, Ю.Н.* Анализ данных на компьютере: учебное пособие/ Ю.Н. Тюрин, А.А. Макаров. — М.: МЦНМО, 2016 г. — 368 с.
84. *Косенко, Е.А.* Планирование эксперимента в машиностроении. —М.: МАДИ, 2023 г. — 56 с.
85. *Голдобин, Ю.М.* Инженерный эксперимент: учебное пособие/ Ю.М. Голдобин, Е.Ю. Павлюк. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2022 г. — 95 с.

86. *Бояршинова, А.К.* Теория инженерного эксперимента /А.К. Бояршинова, А.С. Фишер. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. —85 с.
87. *Бурнаева, Э.Г.* Статистический пакет анализа данных в Excel 2013. Учебное пособие/ Э.Г. Бурнаева, С.Н. Леора. — СПб.: СПбГУ, 2020 г. —40 с.
88. *Жученко, Ю.М.* Основы статистики. Лабораторный практикум: учебно-методическое пособие для студентов 2 курса всех факультетов медицинских вузов / Ю.М. Жученко, А.А. Ковалев, В.А. Игнатенко. — Гомель: ГомГМУ, 2016 г. —176 с.
89. *Петров, П.К.* Математико-статистическая обработка и графическое представление результатов педагогических исследований с использованием информационных технологий: учебное пособие. —Ижевск: Изд-во "Удмурдский университет", 2013 г.— 179 с.
90. Зайцев О.Н., Способ повышения эффективности удаления вредностей от постов плазменной резки/ Зайцев О.Н., Сиваченко Ю.А.// Строительство и техногенная безопасность, 2024 г. -№34. —С.45-49.
91. Каталог контрольно-измерительных приборов и аксессуаров к ним (анемометр Актаком АТЕ-1034) // "Элекс"-URL:https://www.aktakom.ru/kio/index.php?SECTION_ID=2120&ELEMENT_ID=11289754 (дата обращения 24.07.2024).
92. ГОСТ 12.3.018-79 Система стандартов безопасности труда. Системы вентиляционные. Методы аэродинамических испытаний. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. — 11 с.
93. ГОСТ 34060-2017 Инженерные сети зданий и сооружений внутренние. Испытание и наладка систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Правила проведения и контроль выполнения работ. – М.: Стандартинформ, 2018. —35 с.
94. СТО НОСТРОЙ 2.24.2-2011 Инженерные сети зданий и сооружений внутренние. Вентиляция и кондиционирование. Испытание и наладка систем вентиляции и кондиционирования воздуха. –М.: «БСТ»,2011. — 52 с.

95. Р НОСТРОЙ 2.15.3-2011 Рекомендации. Инженерные сети зданий и сооружений внутренние. Рекомендации по испытанию и наладке систем вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: «БСТ», 2011. —164 с.

96. *Шатило, С.Н. Исследование эффективности работы вент систем: учеб-метод. пособие.* —Гомель: БелГУТ,2015г. — 46 с.

97. МР 4.3.0212-20 Методы контроля. Физические факторы. Контроль систем вентиляции методические рекомендации - М.: Центрмаг, 2020. —28 с.

98. ГОСТ 30494-2011 Межгосударственный стандарт. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – М.: Стандартиформ, 2013. —12 с.

99. Патент России №. 207611 Коаксиальное локальное вытяжное устройство/ Зайцев О.Н.; Сиваченко Ю.А.// Бюл. № 31, 2021. — 2 с.

100. ГОСТ 16504-81 Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. – М.: Стандартиформ, 2001. — 24 с.

101. *Синянский, И. А.* Проектно-сметное дело: учебник для студ. учреждений сред. проф.образования / И. А. Синянский, Н. И. Манешина. — М.: Издательский центр «Академия», 2014 г. — 480 с.

102. *Ардзинов, В.Д.* Сметное дело в строительстве / В.Д. Ардзинов, Н.И. Барановская, А.И. Курочкин. — СПб.: Питер, 2009 г. — 377 с.

103. *Подлевских, А.П.* Методика технико-экономического обоснования внедрения ресурсо - энергосберегающих технологий и оборудования на предприятиях технического сервиса / А.П. Подлевских, С.Р. Прохончуков, А.Р. Фролов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 11 Том 1. —С. 15-21.

104. *Вагин, Г.Я.* Методика технико-экономического обоснования внедрения ресурсо и энергосберегающих технологий и оборудования в промышленности / Г.Я. Вагин, Н.Н. Головкин, Е.Б. Солнцев, А.А. Лямин. —Промышленная энергетика. – 2005г. – № 6. —С. 8-13.

105. Руководство по проектированию очистки воздуха от пыли в системах приточной вентиляции и кондиционирования центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений (ЦНИИ промзданий) Госстроя СССР для инженерно-технических работников проектных организаций. 2-е издание, переработанное и дополненное. – Москва.: Стройиздат, 1984. — 80 с.

106. СП 60.13330. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. – М.: ООО Аналитик, 2012. — 81 с.

107. ГОСТ Р 58917—2021 Технико-экономическое обоснование инвестиционного проекта промышленного объекта. -М.: Российский институт стандартизации, 2021— 9 с.

108. Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтностроительные работы. Сборник Е 22. – М.: Прейскурантиздат, 1987. – 60 с.

109. ФЕР 81-02-20-2001 Сборник № 20. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу. - М.: Госстрой России, 2004 г.— 82 с.

110. "О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд": [федер. Закон: принят Гос. Думой 05 апреля 2013 г.]. - М. АО Кодекс, 2013 - ст. 22.

111. "Об утверждении Методики определения сметной стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, сноса объектов капитального строительства, работ по сохранению объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации на территории Российской Федерации ": Приказ министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 4 августа 2020 г. №421/пр// Минстрой РФ. 2020.— 116 с.
URL:<https://minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/3fb/Methodika-opredeleniya-smetnoy->

stoimosti-stroitelstva_rekonstruktsii_kapitalnogo-remonta_-snosa-obektov-kapitalnogo-stroitelstva_rabot-po-sokhraneniyu-obektov-kulturnogo-naslediya.pdf (дата обращения 25.08.2024).

112. ФЕРМ 81-03-01-2001 Ч.1 Государственные сметные нормативы. Федеральные единичные расценки на монтаж оборудования. Часть 1. Металлообрабатывающее оборудование. Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу. -М.: Госстрой России, 2003 г.— 16 с.

113. "Об установлении тарифов на электрическую энергию для населения и потребителей": Приказ Государственного комитета по ценам и тарифам Республики Крым от 21 декабря 2023г. №45/7 // Совмин Республики Крым. URL:<https://gkz.rk.gov.ru/documents/006cb2ec-9001-4388-968b-6b2d471671de> (дата обращения 24.07.2024).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Патент на полезную модель



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Справка о внедрении материалов диссертационной работы в орган
государственной власти

 ДЕРЖАВНА РАДА РЕСПУБЛІКИ КРИМ УПРАВЛІННЯ СПРАВАМИ <small>вул. Єкатерининська, 18, м. Сімферополь, Республіка Крим, Російська Федерація, 295000, тел.: (3652) 27-63-63, 544-363; тел./факс 27-63-63, e-mail: priemn_ud@crimea.gov.ru, delo@crimea.gov.ru</small>	ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ УПРАВЛЕНИЕ ДЕЛАМИ <small>ул. Екатерининская, 18, г. Симферополь, Республика Крым, Российская Федерация, 295000, тел.: (3652) 27-63-63, 544-363; тел./факс 27-63-63, e-mail: priemn_ud@crimea.gov.ru, delo@crimea.gov.ru</small>	КЪЫРЫМ ДЖУМХУРИЕТИНИНЪ ДЕВЛЕТ ШУРАСЫ ИШЛЕР ИДАРЕСИ <small>Екатерининская сось., 18, Симферополь ш., Къырым Джумхуриети, Русие Федерациясы, 295000, тел.: (3652) 27-63-63, 544-363; тел./факс 27-63-63, e-mail: priemn_ud@crimea.gov.ru, delo@crimea.gov.ru</small>
--	---	--

01.09.2023 № 01.1-057/535 На № _____ от _____

СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ

Управление делами Государственного Совета Республики Крым
полное наименование предприятия (организации учреждения), адрес

Российская Федерация, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Екатериненская, 18

приняты к внедрению материалы диссертационной работы Сиваченко Юрия Анатольевича на тему: «Совершенствование локальных систем вентиляции при плазменной обработке металлов», а именно:

- запатентованная разработка автора, представляющая собой техническое решение по локальному удалению вредностей, образующихся в процессе плазменной резки металлов (патент на полезную модель № 207611);
- инженерная методика подбора коаксиального вытяжного устройства предложенной конструкции для локальных вытяжных систем при плазменной обработке металлов;
- модель коаксиального вытяжного устройства для локальных вытяжных устройств от установок плазменной резки для широкой номенклатуры обрабатываемых металлов, различной производительности и мощности;
- методика проведения промышленного испытания для локального вытяжного устройства предложенной конструкции, которая позволяет определить соответствие характеристик испытуемого образца заявленным для систем удаления воздуха;
- методический подход к определению экономической эффективности внедрения локального вытяжного устройства предложенной конструкции.

Указанные мероприятия при внедрении позволяют достичь снижения выбросов вредных веществ в окружающую среду и поддерживать требуемые параметры микроклимата средствами локализации, удаления воздуха от нестационарных мест плазменной резки металлов, а также снизить капитальные и эксплуатационные затраты при эксплуатации локальных вытяжных вентиляционных систем, применяемых для удаления вредностей от постов плазменной резки.

Внедрение принятых мероприятий не требует существенных капиталовложений в связи с простотой изготовления коаксиального вытяжного устройства предложенной конструкции, при этом позволяя повысить уровень эффективности и инновационности вытяжных установок.

Применение инженерной методики и методики промышленных испытаний подбора коаксиального вытяжного устройства предложенной конструкции для локальных вытяжных систем при плазменной обработке металлов в эксплуатационной практике позволяет рационализировать компоненты системы, оптимизируя возможные капитальные вложения, в том числе при эксплуатации системы, (п.п.м. №207611) и повысить эффективность локальных вентиляционных систем организации.

Предварительно определенная годовая экономия от внедрения системы вентиляции за счет уменьшения расходов на капитальные и эксплуатационные затраты для систем локальной вытяжной вентиляции позволяет достигнуть значительной экономии средств.

Первый заместитель
управляющего делами


 подпись
 М.П.

А.В. Колесников

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Справка о внедрении материалов диссертационной работы в государственное казенное учреждение



**ГОСУДАРСТВЕННОЕ КАЗЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ
«ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ СЛУЖБА УПРАВЛЕНИЯ ДЕЛАМИ ГОСУДАРСТВЕННОГО СОВЕТА РЕСПУБЛИКИ КРЫМ»**

ул. Екатерининская, 18, г. Симферополь, Республика Крым, Российская Федерация, 295000,
тел. 8 (3652) 44-38-50, 544-170

01.09.2023 № 01-03/103 На № _____ от _____

СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ

ГКУ Республики Крым "Вспомогательная служба Управления делами
Государственного Совета Республики Крым
полное наименование предприятия (организации учреждения), адрес
Российская Федерация, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Екатерининская, 18

приняты к внедрению материалы диссертационной работы Сиваченко Юрия Анатольевича на тему: «Совершенствование локальных систем вентиляции при плазменной обработке металлов», а именно:

- запатентованная разработка автора, представляющая собой техническое решение по локальному удалению вредностей, образующихся в процессе плазменной резки металлов (патент на полезную модель № 207611);
- инженерная методика подбора коаксиального вытяжного устройства предложенной конструкции для локальных вытяжных систем при плазменной обработке металлов;
- модель коаксиального вытяжного устройства для локальных вытяжных устройств от установок плазменной резки для широкой номенклатуры обрабатываемых металлов, различной производительности и мощности;
- методика проведения промышленного испытания для локального вытяжного устройства предложенной конструкции, которая позволяет определить соответствие характеристик испытуемого образца заявленным для систем удаления воздуха;
- методический подход к определению экономической эффективности внедрения локального вытяжного устройства предложенной конструкции.

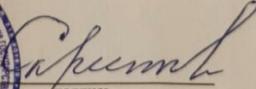
Указанные мероприятия при внедрении позволяют достичь снижения выбросов вредных веществ в окружающую среду и поддерживать требуемые параметры микроклимата средствами локализации, удаления воздуха от нестационарных мест плазменной резки металлов, а также снизить капитальные и эксплуатационные затраты при эксплуатации локальных вытяжных вентиляционных систем, применяемых для удаления вредностей от постов плазменной резки.

Внедрение принятых мероприятий не требует существенных капиталовложений в связи с простотой изготовления коаксиального вытяжного устройства предложенной конструкции, при этом позволяя повысить уровень эффективности и инновационности вытяжных установок.

Применение инженерной методики и методики промышленных испытаний подбора коаксиального вытяжного устройства предложенной конструкции для локальных вытяжных систем при плазменной обработке металлов в эксплуатационной практике позволяет рационализировать компоненты системы, оптимизируя возможные капитальные вложения, в том числе при эксплуатации системы, (п.п.м. №207611) и повысить эффективность локальных вентиляционных систем организации.

Предварительно определенная годовая экономия от внедрения системы вентиляции за счет уменьшения расходов на капитальные и эксплуатационные затраты для систем локальной вытяжной вентиляции позволяет считать достигнутую значительной экономии средств.

Директор ГКУ РК
"Вспомогательная служба
УД ГС РК"



подпись

В.П. Скрипникова

М.П.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Справка о внедрении материалов диссертационной работы в учебный процесс

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной
деятельности
ФГАОУ ВО «Крымский
федеральный университет
им. В.И. Вернадского»



Н.В. Любомирский
Н.В. Любомирский

13 » 09 2023 г.

АКТ

внедрения результатов научно-исследовательской работы в учебный процесс кафедры «Инженерные системы в строительстве» Института «Академия строительства и архитектуры» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского»

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия в составе председателя, зав. кафедрой «Инженерные системы в строительстве» Ангелюка И.П., доцента, кандидата технических наук и членов комиссии - профессора, доктора технических наук Федюшко Ю.М., доцента, кандидата технических наук Кабанова А.Н. составили настоящий акт в том, что результаты диссертационной работы «Совершенствование локальных вентиляционных систем при плазменной обработке металлов», подготовленной аспирантом Сиваченко Ю.А., внедрены в учебный процесс кафедры «Инженерные системы в строительстве» института «Академия строительства и архитектуры» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского».

Разработки по объекту внедрения включены в лекционные и лабораторные занятия по дисциплинам «Вентиляция жилых и общественных зданий», «Вентиляция промышленных зданий».

В результате рассмотрения материалов на предмет использования в учебном процессе, комиссия считает датой фактического внедрения «13» сентября 2023 г.

Председатель комиссии Ангелюк И.П. _____

Члены комиссии: Федюшко Ю.М. _____

Кабанов А.Н. _____