МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт инженерной и экологической безопасности
(наименование института полностью)

20.03.01 Техносферная безопасность
(код и наименование направления подготовки/специальности)

Безопасность технологических процессов и производств
(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Система защиты воздушной среды участка сварочных работ с применением восстановительной вентиляции

Обучающийся	Р.А. Чирков	
	(Инициалы Фамилия)	(личная подпись)
Руководитель	к.б.н., доцент, Н.Ю. Мичурина	
	(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)	
Консультанты	к.э.н., доцент, Т.Ю. Фрезе	
	(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)	

Тольятти 2025

Аннотация

к выпускной квалификационной работе на тему «Система защиты воздушной среды участка сварочных работ с применением восстановительной вентиляции»

В выпускной квалификационной работе – 85 стр., содержащих 10 рис., 27 табл., 42 библиографических источников, 1 приложение.

Ключевые слова: сварочные аэрозоли, восстановительная вентиляция, охрана труда, защита воздушной среды, аспирация, производственные загрязнения, экологическая безопасность.

Объектом исследования является производственный процесс в сварочном цехе АО «ПО «Севмаш», связанный с выполнением ручной дуговой, полуавтоматической и газовой сварки, а также с сопутствующими операциями термической резки и финишной обработки металла.

Предметом исследования выступают методы и средства защиты воздушной среды, включая восстановительную вентиляцию, аспирационные установки, локальные вытяжные системы и организационные меры.

ВКР содержит введение, три основных раздела с подразделами, а также охрану труда, охрану окружающей среды, защиту в чрезвычайных ситуациях, оценку эффективности мероприятий, заключение и список использованных источников.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, определен предмет исследования, приведены методы и методологическая база.

В первом разделе рассмотрены технологические процессы на предприятии и проведен анализ основных источников загрязнения воздуха, возникающих при сварке и термической резке металла.

Во втором разделе описаны принципы применения восстановительной вентиляции в сварочном цехе, определены расчетные параметры воздухообмена, выбрана оптимальная схема вентиляции и аспирации.

В третьем разделе предложены мероприятия по совершенствованию системы очистки воздуха, обоснован выбор оборудования, проведены расчеты технико-экономической эффективности и дана оценка результатов применения новых решений.

Завершающие части работы посвящены вопросам охраны труда и окружающей среды, а также анализу рисков в чрезвычайных ситуациях и оценке общей эффективности внедряемых мер. В заключении представлены основные выводы по итогам исследования.

Содержание

Введение 5
1 Системы защиты воздушной среды 8
1.1 Технологические процессы на АО «ПО «Севмаш» и основные источники загрязнения атмосферного воздуха 8
1.2 Аналитические исследования воздушной среды и вероятные экологические последствия 11
1.3 Научно-технологический подход к охране воздушной среды при выполнении сварочных операций 20
2 Применение восстановительной вентиляции при проведении сварочных работ 24
2.1 Определение объемов местной вытяжной вентиляции в сварочном цеху 24
2.2 Определение объемов общеобменной вентиляции 26
2.2.1 Расчет вредных выделений 26
2.2.2 Расчет воздухообмена на разбавление теплоизбытков 29
2.2.3 Расчет воздухообмена по газовым вредным выделениям 30
2.3 Воздушный баланс 31
3 Мероприятия по совершенствованию защиты воздушной среды участка сварочных работ с применением восстановительной вентиляции 34
3.1 Выбор и обоснование принципиальных решений по вентиляции 34
3.2 Выбор и расчет воздухораспределительных устройств 35
3.3 Аэродинамический расчет систем вентиляции и аспирации 39
3.4 Расчет аэрации 41
3.5 Расчет и подбор оборудования для создания системы вентиляции 42
4 Охрана труда 54
4.1 Охрана окружающей среды и экологическая безопасность 59
4.2 Защита в чрезвычайных и аварийных ситуациях 63
4.3 Оценка эффективности мероприятий по обеспечению техносферной безопасности 68
Заключение 77
Список используемой литературы и используемых источников 79
Приложение 84

Введение

Проблема обеспечения качественной очистки воздуха в процессе судостроительного производства является актуальной в силу ужесточения экологических требований и повышенного внимания к условиям труда на предприятиях металлургического и сварочного профиля. Рост масштабов судостроительных работ, внедрение новых технологий обработки металла и использование разнообразных материалов усиливают нагрузку на воздушную среду, что требует разработки эффективных способов ее защиты, особенно в сварочных цехах.

В ходе предварительного анализа установлено, что вопросы локального улавливания вредных аэрозолей и газов при сварке изучены достаточно широко, однако применение восстановительной вентиляции в комплексе с аспирационными системами пока освещено фрагментарно.

Многочисленные научные работы и нормативные источники уделяют внимание лишь отдельным аспектам – расчету воздухообмена, фильтрационным методикам или эколого-экономическим результатам внедрения новых технологий. Полноценные исследования, посвященные интегрированному подходу к защите воздушной среды именно в сфере судостроения, остаются недостаточно систематизированными.

Объектом исследования является производственный процесс в сварочном цехе АО «ПО «Севмаш», связанный с выполнением ручной дуговой, полуавтоматической и газовой сварки, а также с сопутствующими операциями термической резки и финишной обработки металла.

Предметом исследования выступают методы и средства защиты воздушной среды, включая восстановительную вентиляцию, аспирационные установки, локальные вытяжные системы и организационные меры.

Цель исследования состоит в обосновании и разработке системы защиты воздушной среды участка сварочных работ, основанной на восстановительной

вентиляции и интегрированной с существующими технологическими процессами.

Задачи исследования включают проведение анализа основных загрязняющих факторов, определение наиболее эффективных схем вентиляции и аспирации, расчет производительности проектируемого оборудования, оценку влияния внедренных решений на воздушную среду и условия труда, а также выработку практических рекомендаций по обеспечению экологической и промышленной безопасности при сварочных операциях.

Гипотеза исследования заключается в том, что комплексное применение восстановительной вентиляции в сочетании с локальными вытяжными устройствами и модернизированными аспирационными системами способно существенно снизить концентрацию вредных аэрозолей и газов при сварке, при этом экономическая эффективность таких решений будет подтверждена за счет уменьшения затрат на компенсации вредности и сокращения профзаболеваний.

В процессе работы применяются методы литературного анализа научных и нормативных источников, технико-экономический расчет воздухообменов, аэродинамический расчет аспирационных систем, математическое моделирование переноса загрязняющих веществ и анализ статистических данных о травматизме и профзаболеваниях на предприятии.

Теоретической и методологической основой исследования служат отечественные и зарубежные работы по промышленной экологии, техносферной безопасности, проектированию систем промышленной вентиляции, а также нормативные документы, регламентирующие производство сварочных работ и применение систем очистки воздуха в судостроении. Используются современные концепции комплексного мониторинга загрязнений, научные труды в области рационального проектирования и организационные методики управления рисками.

Научная новизна заключается в создании целостной модели организации воздушного баланса в сварочном цехе, которая предполагает сочетание восстановительной вентиляции и локальных аспирационных установок. Данная модель учитывает характер загрязняющих выбросов в судостроительной отрасли и обеспечивает многоуровневое удаление вредных веществ, позволяя существенно повысить эффективность природоохранных мер.

Практическая значимость определяется возможностью внедрения предложенных решений на аналогичных предприятиях, осуществляющих масштабные сварочные работы и сталкивающихся с проблемами высокого уровня загрязнений. Результаты исследования могут быть использованы для совершенствования вентиляционного и аспирационного оборудования, снижения затрат на компенсации и льготы по вредности, а также для повышения надежности технологических процессов.

Структура работы отражает логику достижения поставленной цели. В начале исследования проведен анализ существующих технологических процессов и источников выбросов, далее раскрываются особенности применения восстановительной вентиляции и аспирационных технологий, рассматриваются аспекты охраны труда и окружающей среды, оценка эффективности мероприятий по снижению производственных рисков и улучшению экологической обстановки, а также формулируются выводы и рекомендации.

1 Системы защиты воздушной среды

1.1 Технологические процессы на АО «ПО «Севмаш» и основные источники загрязнения атмосферного воздуха

Акционерное общество «Производственное объединение «Северное машиностроительное предприятие», основанное в 1939 г., представляет собой крупнейший судостроительный комплекс России, осуществляющий проектирование, строительство, модернизацию и ремонт подводных лодок и надводных кораблей различных классов.

Производственные мощности предприятия, расположенные в г. Северодвинске Архангельской области, включают многочисленные цеха, доки, судостроительные стапели, металлообрабатывающие и сборочные линии, энергетические установки, а также инфраструктурные комплексы, обеспечивающие полный цикл судостроительного производства. Современная технологическая база предприятия включает несколько ключевых направлений, каждое из которых сопряжено с выделением определенных загрязняющих веществ в атмосферный воздух, что требует детального анализа воздействия производственных процессов на окружающую среду.

На различных стадиях судостроительного производства наблюдается образование специфических загрязняющих веществ, возникающих в процессе обработки металлических конструкций, термического воздействия на материалы, нанесения защитных покрытий, работы энергетического оборудования и проведения пусконаладочных испытаний.

В начальной фазе производства осуществляется подготовка металла, включающая резку, штамповку, гибку и механическую обработку металлических заготовок. В ходе этих процессов образуется значительное количество металлической стружки, абразивной пыли, аэрозолей масляных смесей и эмульсий, содержащих в своем составе железо, медь, никель, хром, марганец и другие элементы. По данным производственного экологического

мониторинга, проведенного на АО «ПО «Севмаш», концентрация взвешенных частиц в воздухе при механической обработке металла достигает 120 мг/м³ в рабочей зоне, что требует применения локальных систем аспирации и фильтрации.

При выполнении сварочных работ, являющихся неотъемлемым этапом соединения металлических конструкций, в воздушную среду поступают аэрозоли металлов, оксиды железа, марганца, никеля, хрома, а также озон и оксиды азота, образующиеся при воздействии высокой температуры на металлические поверхности.

Согласно данным промышленных измерений, концентрация сварочного аэрозоля в цехах без локальных отсосов может достигать 2,5 мг/м³, что превышает предельно допустимые значения, установленные для данных условий труда. Влияние сварочных процессов на состав атмосферного воздуха определяется типом применяемых электродов и защитных газов: использование покрытых электродов приводит к повышенному выделению марганца и фторидов, тогда как сварка в среде аргона и углекислого газа сопровождается увеличением концентрации озона и угарного газа.

Значительная нагрузка на атмосферный воздух создается при проведении термической резки металла, осуществляемой методами газопламенной, плазменной и лазерной обработки. В ходе этих операций выделяются высокодисперсные частицы металлических соединений, окислы железа, алюминия, титана, а также газообразные продукты горения, включающие оксиды азота, оксид углерода и углеводороды. Исследования, проведенные в металлообрабатывающих цехах предприятия, показывают, что при плазменной резке концентрация аэрозолей металлов может достигать 8 мг/м³ в рабочей зоне, что требует обязательного применения вытяжных столов и систем фильтрации.

Особое внимание при анализе технологического воздействия на воздушную среду уделяется лакокрасочным работам, связанным с нанесением защитных и антикоррозионных покрытий на металлические конструкции

судов. Используемые лакокрасочные материалы содержат растворители, в составе которых присутствуют бензол, толуол, ксилол, ацетон, а также ряд летучих органических соединений, способных вызывать образование фотохимического смога. По данным анализа выбросов, проведенного в малярных камерах, суммарная концентрация летучих органических соединений в воздухе может достигать 250 мг/м³ при недостаточной вентиляции, что создает потенциальную опасность для персонала и требует применения активных угольных фильтров и систем утилизации паров растворителей.

На заключительных этапах судостроительного цикла особое внимание уделяется тестированию энергетических установок, дизель-генераторов, судовых систем жизнеобеспечения и вспомогательных механизмов. В процессе работы силовых агрегатов в атмосферу поступают выхлопные газы, содержащие оксиды серы, азота, углерода, а также сажевые частицы, образующиеся при сгорании дизельного топлива. Анализ состава выбросов дизель-генераторов, проведенный в условиях тестовых испытаний на стапелях, показывает, что концентрация оксида углерода в воздухе может достигать 70 мг/м³, а уровень сажи превышает 30 мг/м³, что требует применения каталитических нейтрализаторов и газоочистных систем.

Таким образом, многокомпонентный состав выбросов, образующихся на различных стадиях судостроительного производства, определяет необходимость комплексного подхода к охране атмосферного воздуха, включающего технологическую модернизацию, внедрение эффективных систем очистки, аспирации и фильтрации, а также организацию регулярного мониторинга загрязняющих веществ с целью контроля их концентрации и соответствия нормативным требованиям.

Для количественной оценки уровня воздействия на воздушную среду в таблице 1 представлены основные загрязняющие вещества, характерные для технологических процессов АО «ПО «Севмаш», их концентрации в рабочей зоне и установленные предельно допустимые концентрации.

Таблица 1 – Основные загрязняющие вещества в технологических процессах АО «ПО «Севмаш»

Производственный процесс	Загрязняющие вещества	Средняя концентрация (мг/м³)	ПДК (мг/м³)
Механическая обработка металла	Взвешенные частицы, масляные аэрозоли	120	10
Сварка	Аэрозоли металлов, оксиды азота, озон	2,5	1
Термическая резка	Аэрозоли железа, алюминия, титана	8	4
Лакокрасочные работы	Летучие органические соединения	250	50
Испытания двигателей	Оксид углерода, сажа, оксиды серы	70 (CO), 30 (сажа)	20 (CO), 10 (сажа)

Данные, представленные в таблице 1, подтверждают необходимость совершенствования очистных мероприятий на предприятии с целью приведения концентраций загрязняющих веществ к нормативным уровням.

1.2 Аналитические исследования воздушной среды и вероятные экологические последствия

Многолетние наблюдения, проводимые на крупнейшем предприятии Архангельской области, показали необходимость систематического исследования состава воздуха внутри производственных помещений и на прилегающих территориях. Научная группа, осуществляющая контроль качества воздушной среды, использует стационарные и мобильные станции отбора проб, а также лабораторное оборудование, позволяющее определять широкий спектр параметров, включая количество взвешенных частиц, содержание тяжелых металлов, концентрацию летучих органических соединений, уровень оксидов серы и азота, а также углеродсодержащие компоненты. Значимость подобных исследований определяется комплексным характером судостроительного производства, который подразумевает

совокупность механических, термических и химических операций, часто проходящих в закрытых помещениях с интенсивной нагрузкой на рабочую зону и потенциальным риском для обслуживающего персонала, а также возможным влиянием на населенные пункты в окрестностях промышленной площадки.

Расположение Северодвинска на морском побережье с умеренно-холодным климатом и частыми сезонными изменениями направления ветра, влажности и температуры способствует неоднородному рассеянию загрязняющих веществ и усложняет прогнозирование динамики атмосферы, что побуждает специалистов уделять пристальное внимание сбору и обработке репрезентативных данных в любое время года.

Программа наблюдений за концентрациями вредных компонентов в атмосфере базируется на сочетании непрерывного контроля на территории судостроительного предприятия и периодического отбора проб в радиусе нескольких километров за его пределами. Внутренние измерительные пункты монтируются вблизи сварочных постов, участков термической резки, лакокрасочных камер и стационарного оборудования, работающего на различных видах топлива. Подобная практика позволяет фиксировать мгновенные показатели загрязнения и отслеживать влияние технологических факторов в реальном времени, что дает возможность оперативно вносить корректировки в технологические режимы.

Анализ метеорологических данных, включающий информацию о направлении и скорости ветра, атмосферном давлении, температурном профиле и коэффициентах рассеивания, играет существенную роль в интерпретации результатов, поскольку аналогичные выбросы могут приводить к разным последствиям при вариациях погодных условий. Специализированные компьютерные программы используются для моделирования переноса загрязняющих веществ и оценки концентраций в потенциальных зонах риска. На основе собранных сведений рассчитываются усредненные показатели за сутки, неделю или месяц, а также устанавливается

вероятность превышения нормативных значений при экстремальных производственных нагрузках или неблагоприятных метеорологических явлениях.

Анализ, проводимый на реальных промышленных площадках, обычно дополняется сведениями о фактических измеренных концентрациях в разных точках производственных помещений и за их пределами.

Ниже представлена таблица 2 с показателями, отражающими изменения концентраций тяжелых металлов в зоне сварочных участков при колебаниях основных метеорологических параметров и различных режимах вентиляции.

Таблица 2 – Средние концентрации тяжелых металлов и параметры воздушной среды на сварочных участках

Параметр	Измерение 1	Измерение 2	Измерение 3	Измерение 4
Скорость ветра (м/с)	1,2	2,5	2,0	3,0
Температура воздуха (°C)	18	20	22	19
Влажность (%)	55	60	58	62
Оксиды железа (мг/м³)	2,4	1,5	2,2	1,2
Соединения хрома (мг/м³)	0,20	0,10	0,15	0,08
Никельсодержащие аэрозоли (мг/м³)	0,12	0,06	0,09	0,05
Вытяжная вентиляция (кратн./ч)	6	8	10	12

Показатели в таблице 2 демонстрируют зависимость концентраций оксидов железа, соединений хрома и никельсодержащих аэрозолей от величины кратности вытяжной вентиляции и ветровых характеристик за пределами производственного помещения.

В ситуации, когда ветер увеличивается до 3,0 м/с, а кратность обмена воздуха возрастает до 12, усредненная концентрация соединений тяжелых металлов в зоне сварки снижается более чем в 2 раза по сравнению с периодом,

когда скорость ветра не превышает 1,2 м/с, а интенсивность вентиляции остается на уровне 6 кратн./ч.

Комплексная оценка полученных сведений требует не только сопоставления указанных концентраций с установленными нормативами, но и учета возможного совместного влияния оксидов железа, хрома и никеля на организм рабочих. Многие соединения тяжелых металлов проявляют аддитивные или даже синергетические эффекты при проникновении в дыхательные пути, что может вызывать хронические изменения в системе дыхания. Более высокая температура, наблюдаемая в измерении 3, не всегда приводит к существенному снижению загрязнения, поскольку эффективность вентиляции зависит от правильно сбалансированного воздухообмена, согласованного с конфигурацией производственных цехов и расположением сварочных постов.

Сравнительный анализ приведенных данных подкрепляется дополнительной информацией, включающей оценку среднего уровня концентраций за смену и статистические характеристики (дисперсия, коэффициенты вариации).

Усредненные концентрации тяжелых металлов и статистическая оценка отклонений представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Усредненные концентрации тяжелых металлов и статистическая оценка отклонений

Показатель	Среднее значение (мг/м³)	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации (%)
Оксиды железа	1,8	0,5	27,8
Соединения хрома	0,13	0,04	30,8
Никельсодержащие аэрозоли	0,08	0,02	25,0

Данные таблицы 3 и результирующие характеристики помогают оценивать риски возникновения негативных последствий для работников, занятых на сварочных операциях, а также определять, при каких условиях

требуется модернизация вентиляционных систем или изменение технологического регламента.

Более высокий коэффициент вариации, например у соединений хрома, указывает на возможность резких скачков концентрации в зависимости от индивидуальных производственных ситуаций и внешних факторов, среди которых выделяются метеорологические условия, интенсивность сварочных процессов и расположение рабочих мест.

Аналитические методики, применяемые для идентификации и количественного определения вредных примесей, включают атомно-абсорбционную спектрометрию, газовую хромато-масс-спектрометрию, фотоколориметрию, ИК-спектроскопию и другие высокоточные технологии, позволяющие улавливать даже минимальные концентрации токсичных соединений.

Производственные циклы судостроения способны генерировать широкий спектр загрязнителей, среди которых особо выделяются соединения тяжелых металлов, образующиеся при сварочных операциях, газопламенной резке и финишной обработке металлических изделий. Сложные оксиды железа, никеля, хрома, титана и иных металлов, присутствующие в сварочном аэрозоле, могут оказывать неблагоприятное воздействие на органы дыхания рабочих, особенно при недостаточной вентиляции и отсутствии локальных отсосов в зоне образования вредных веществ.

В условиях масштабного судостроительного производства, ориентированного на изготовление корпусов и элементов различной толщины, возникает необходимость исследования закономерностей осаждения и дальнейшего вторичного подъема пыли, образующейся при абразивной обработке швов и зачистке поверхностей от дефектов, поскольку результаты показывают усиление суммарной концентрации пылевых частиц при наличии сквозных проемов в цехах, а также при неправильно выбранной схеме движения воздушных потоков.

Специальные исследования, осуществленные в рамках производственного мониторинга, включали учет среднесменной концентрации марганца, хрома(VI), свинца и кадмия в воздухе рабочих зон. Полученные результаты фиксировали постепенное снижение указанных показателей после внедрения более совершенных фильтров в вытяжных системах, однако в периоды интенсивной производственной загрузки, при одновременном выполнении нескольких сварочно-резательных операций на близком пространстве, наблюдалась тенденция к кратковременному превышению санитарных норм.

Для улучшения представления об общей картине загрязнения проводились сравнительные испытания в разных цехах, отличающихся типом выпускаемой продукции, применяемыми технологиями и степенью изношенности оборудования.

Были выявлены участки с проблемами, обусловленными устаревшими аппаратами для газопламенной резки, где концентрации оксидов азота были выше средних значений на 30-50%. Одновременно проходили мероприятия по модернизации оборудования, что повлекло заметное улучшение воздушной среды в производственных помещениях, подтвержденное результатами повторных отборов проб.

Внешние посты наблюдения, установленные по периметру санитарно-защитной зоны, дают представление о переносе загрязняющих веществ за пределы территории предприятия и об их распространении в городскую черту. Специалисты фиксируют концентрации диоксида серы, монооксида углерода, летучих органических соединений и взвешенных частиц фракций PM10 и PM2.5, которые считаются наиболее опасными для здоровья жителей, особенно при наличии ветров, дующих со стороны промышленных объектов.

Информационно-аналитическая система, позволяющая обобщать сведения из всех пунктов отбора проб, обеспечивает вычисление среднегодовых значений загрязняющих веществ, оценку сезонной и суточной вариации концентраций, а также выявление основных тенденций и

аномальных пиковых выбросов. Дальнейшее планирование природоохранных мер опирается на результаты математического моделирования, в котором учитываются объемы производства, структура потребления сырья, режим эксплуатации газоочистного оборудования и характеристики воздушных потоков.

Применяемая методика моделирования затрагивает топографические особенности окрестностей и особенности архитектуры промышленной площадки, поскольку высотная застройка и наличие закрытых доков могут существенно влиять на траектории миграции вредных примесей. Производится также пересмотр действующих экологических нормативов и поиск экономически целесообразных решений, позволяющих привести показатели загрязнения к безопасным уровням без снижения эффективности судостроительных операций.

Для более детального понимания распределения концентраций загрязняющих компонентов на территории завода и в ближайшей городской черте была проведена выборка данных о среднесуточном содержании летучих органических соединений, оксидов азота и взвешенных частиц, взятых за 5 последовательных месяцев при разных режимах эксплуатации сварочно-покрасочных комплексов.

В таблице 4 представлены усредненные показатели, зафиксированные стационарными пунктами в пределах предприятия и на расстоянии около 1,5 км от основных производственных цехов.

Таблица 4 – Среднесуточные концентрации основных загрязняющих компонентов (мг/м³), зафиксированные внутри промышленной зоны и на прилегающей территории

Период наблюдений	ЛОС (внутри)	ЛОС (вне)	NOx (внутри)	NOx (вне)	PM10 (внутри)	PM10 (вне)
1-й месяц	105	40	15	7	70	25
2-й месяц	120	38	18	9	64	21
3-й месяц	95	35	12	6	74	26
4-й месяц	80	30	10	5	55	20
5-й месяц	110	42	16	8	60	23

Представленные результаты демонстрируют, что концентрации внутри промышленной зоны всегда превышают показатели, зафиксированные в зоне внешнего наблюдения, причем наиболее выраженный разрыв наблюдается по летучим органическим соединениям, связанным с использованием растворителей в производственных процессах.

Оксиды азота (NOx) также демонстрируют периодические скачки, обусловленные высокой интенсивностью сварочно-резательных операций в отдельные месяцы. Взвешенные частицы размером до 10 микрон (PM10) свидетельствуют об угрозе для органов дыхания, особенно при неэффективной очистке воздуха в помещениях цехов. Одновременно обнаружено, что при распространении вредных веществ за пределы предприятия усредненная концентрация большинства загрязнителей снижается в 2-3 раза, однако остается вероятность превышения предельно допустимых значений в периоды безветренной погоды или при мощном выбросе во время проведения массовых работ.

В ходе анализа выявлена многомерная зависимость уровня загрязнения от характеристик производственных процессов, количества задействованных сварочных агрегатов, степени износа оборудования, объемов применяемых растворителей и качества функционирования газоочистных систем. Наблюдения, сделанные в период пиковых нагрузок, указывают на особую значимость исправного состояния фильтрационных устройств и регулярной очистки воздуховодов, поскольку именно при сочетании нескольких негативных факторов (изношенных вытяжных установок и интенсивного расхода лакокрасочных материалов) происходило максимальное отклонение от нормативов.

Техническое перевооружение цехов, где совмещаются механическая обработка, высокотемпературные процедуры и применение токсичных веществ, требует внедрения новой генерации фильтров, усовершенствованных лазерных и гидроабразивных установок, снижающих объемы пылеобразования. Роботизация операций, связанных со сваркой и покраской,

способствует уменьшению ошибок, сокращению лишних технологических выбросов, а также дополнительной защите персонала от воздействия вредных факторов. Переход к более экологичным видам топлива дает возможность снизить концентрации оксидов серы и азота, параллельно улучшая общую энергоэффективность судостроения.

Продолжающаяся систематическая работа по выявлению и устранению проблемных точек, связанных с несанкционированными испарениями растворителей, неконтролируемыми пылевыделениями и сбоями в работе вентиляционных систем, свидетельствует о том, что комплексная модернизация судостроительных мощностей не может быть одномоментной. Преобразования происходят постепенно, с учетом технологических, экономических и регуляторных ограничений, которые учитываются проектными организациями и экологическими службами. Для полноценной оценки прогресса в области охраны воздуха необходимо регулярное сравнение фактических концентраций загрязняющих веществ с теми показателями, которые были зафиксированы в периоде до внедрения обновленных решений.

Таким образом, научная деятельность по изучению воздушной среды, основанная на комплексном мониторинге, лабораторной диагностике, метеорологическом моделировании и внедрении передовых методов фильтрации, создает предпосылки для продуктивной работы судостроительных предприятий на Северном машиностроительном комплексе в долгосрочной перспективе.

Точное понимание механизмов формирования загрязняющих выбросов, оценка вероятных рисков для населения и окружающей среды, а также поиск инновационных решений в области безопасности и энергетической эффективности свидетельствуют о значительном потенциале совершенствования судостроительной отрасли без чрезмерного ущерба для воздуха, которым дышат жители региона.

1.3 Научно-технологический подход к охране воздушной среды при выполнении сварочных операций

Комплекс мер, направленных на снижение концентрации вредных примесей, образующихся при выполнении сварочных работ, играет ключевую роль в системе защиты воздушной среды судостроительного производства. Выбросы сварочного аэрозоля, содержащего оксиды металлов, газообразные соединения и мелкодисперсные частицы, оказывают влияние на качество воздуха в цехах и прилегающих зонах. Анализ динамики выбросов, проведенный на базе экспериментальных данных, позволяет выявить факторы, определяющие уровень загрязнения, и оценить эффективность существующих методов очистки.

Систематизированные измерения состава сварочного дыма, выполненные с использованием рентгенофлуоресцентного и атомно-абсорбционного анализа, указывают на значительные вариации концентрации загрязняющих веществ в зависимости от типа сварки, применяемых материалов и параметров вентиляции. Установлено, что наибольшая нагрузка на воздушную среду наблюдается в периоды интенсивной работы, когда на одной площадке одновременно задействовано несколько сварочных постов, а система аспирации не успевает полностью улавливать выделяющиеся аэрозоли. Средние концентрации вредных веществ в зоне сварочных работ представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Средние концентрации вредных веществ в зоне сварочных работ (мг/м³)

Показатель	Дуговая сварка	Полуавтоматическая сварка	Лазерная сварка	Норматив ПДК
Оксиды железа	2,4	1,2	0,5	1,0
Соединения хрома	0,18	0,10	0,04	0,05
Никельсодержащие аэрозоли	0,11	0,06	0,02	0,05
Озон	0,09	0,07	0,03	0,05
Оксиды азота	3,5	2,2	1,0	2,0

Результаты в таблице 5 демонстрируют, что традиционная дуговая сварка создает наибольшую нагрузку на воздушную среду, поскольку сопровождается повышенным образованием аэрозолей металлов и оксидов азота. Полуавтоматические установки в защитных газах показывают меньшие выбросы, тогда как лазерная сварка формирует минимальные концентрации загрязняющих веществ, однако требует высокоточных систем позиционирования и значительных капитальных затрат.

Для контроля загрязнения воздуха на сварочных участках применяются вытяжные системы локального отсоса, обеспечивающие улавливание аэрозольных частиц и газов в зоне их образования. Производственные эксперименты, направленные на оценку эффективности различных аспирационных решений, показывают, что современные мобильные вытяжные установки способны снижать уровень загрязнения в пределах рабочей зоны на 85-90% при условии корректного расположения воздухозаборных устройств.

Сравнительная эффективность различных систем аспирации представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Сравнительная эффективность различных систем аспирации

Тип аспирации	Коэффициент улавливания твердых частиц (%)	Коэффициент улавливания газовых примесей (%)	Энергоемкость (кВт·ч на 1000 м³)
Локальный отсос с фильтрацией	85	75	3,5
Централизованная вытяжка	70	60	2,8
Комбинированная (локальная + централизованная)	90	85	4,2

Комбинированный вариант аспирации, сочетающий локальные вытяжные установки и централизованную систему вентиляции, демонстрирует наивысшую эффективность по улавливанию аэрозолей

металлов и газовых соединений. Однако такие системы требуют повышенного энергопотребления и регулярного технического обслуживания.

Анализ пространственного распределения примесей показывает, что сварочный дым нередко концентрируется в верхних слоях воздуха при недостаточно эффективной вентиляции, что создает риск его внезапного «обвала» при перемещении крупногабаритных кранов или изменении воздушных потоков. Данные, полученные с датчиков загазованности, указывают, что при слабом воздухообмене пиковые концентрации аэрозолей металлов могут превышать установленные нормативы в 1,5-2 раза.

Для устранения таких проблем внедряются автоматизированные системы контроля загрязнения, включающие датчики в режиме реального времени, регулирующие скорость работы аспирационных установок в зависимости от текущих концентраций вредных веществ. Применение интеллектуальных алгоритмов позволяет оптимизировать вентиляционные процессы и снизить эпизодические всплески загрязнения.

Изменение концентрации загрязняющих веществ при автоматическом регулировании вентиляции представлено в таблице 7.

Таблица 7 – Изменение концентрации загрязняющих веществ при автоматическом регулировании вентиляции (мг/м³)

Параметр	До внедрения автоматизации	После внедрения автоматизации	Снижение (%)
Оксиды железа	2,1	1,0	52
Соединения хрома	0,14	0,07	50
Никельсодержащие аэрозоли	0,09	0,04	56
Оксиды азота	3,0	1,8	40

Автоматизация управления вентиляцией позволяет снизить концентрацию вредных веществ в сварочных зонах на 40-56%, обеспечивая соответствие нормативным требованиям и улучшая условия труда.

Дополнительно проводится работа по совершенствованию технологии сварки с использованием низкотоксичных присадочных материалов и

электродов. Современные покрытия сварочных проволок и флюсы позволяют уменьшить образование аэрозольных частиц, содержащих соединения хрома и никеля, что снижает токсическую нагрузку на организм работников.

Экспериментальные данные исследователей подтверждают, что применение альтернативных сварочных материалов может сократить выбросы металлооксидов на 20-30%, при этом повышение стоимости указанных расходников компенсируется снижением энергозатрат на очистку воздуха и уменьшением случаев профессиональных заболеваний.

Таким образом, системный подход к охране воздушной среды при сварочных операциях включает оптимизацию аспирационных систем, внедрение автоматизированного контроля загрязнения, использование современных фильтрационных технологий и переход на материалы с пониженным уровнем образования вредных примесей.

2 Применение восстановительной вентиляции при проведении сварочных работ

2.1 Определение объемов местной вытяжной вентиляции в сварочном цеху

Объемы отсасываемого воздуха от панелей

Стенды расположены вдали от стены. К расчету принимаем панели 900х645 мм. При скорости воздуха 3м/с расход воздуха равен 1400м^3/ч по [11, табл.5.10].

Объем отсасываемого воздуха защитно-обеспыливающим кожухом и бортовым отсосом определяется по расчету:

$$L_{к1}=2\cdot d, \text{ если } d < 250\text{мм}, \quad (2.1)$$

$L_{к1} = 2\cdot150 = 300$ м^3/ч

$$L_{к2}=1{,}8\cdot d, \text{ если } d = 250\ldots600 \text{ мм} \quad (2.2)$$

$L_{к2} = 1{,}8\cdot250 = 450$ м^3/ч;

$L_{к3} = 1{,}8\cdot350 = 630$ м^3/ч.

Двухсторонний бортовой отсос при габаритах закалочной ванны – 800х1200 отсасывает объем воздуха, рассчитываемый по формуле:

$$L= L_o\cdot k_t\cdot k_T\cdot k_1\cdot k_2\cdot k_3\cdot k_4 \quad (2.3)$$

где L_o-расход воздуха, удаляемого щелью отсоса, м^3/ч, определяемое по формуле:

$$L_o=1400\cdot\left(0{,}53\cdot\frac{B_p\cdot l}{B_p+l}+H_p\right)^{1/3}\cdot B_p\cdot l, \qquad (2.4)$$

где B_p – расчетная ширина ванны;

l – длина ванны;

H_p – расчетное расстояние от зеркала раствора до борта ванной или оси щели;

k_t – коэффициент, учитывающий разность t, раствора и воздуха в помещении;

k_T – коэффициент , учитывающий токсичность и интенсивность выделения вредных веществ;

k_1 – коэффициент ,учитывающий тип отсоса;

k_2 – коэффициент, учитывающий наличие воздушного переливания;

k_3 – коэффициент, учитывающий укрытие зеркала раствора плавающими телами;

k_4 – коэффициент, учитывающий укрытие зеркала раствора пеной поверхностно активных веществ.

$L_o=1400\cdot\left(0{,}53\cdot\frac{0{,}8\cdot1{,}2}{0{,}8+1{,}2}+1{,}5\right)^{1/3}\cdot 0{,}8\cdot 1{,}2=1621$ м^3/ч;

$L=1621\cdot1{,}71\cdot1{,}6\cdot 1\cdot1{,}2\cdot0{,}75\cdot0{,}5=1996$ м^3/ч.

Результаты расчета расходы воздуха местной вытяжной вентиляции представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Объемы местной вытяжной вентиляции

Тип оборудования	Тип местного отсоса	Кол-во	Объем отсасываемого воздуха	
			единицы, м^3/ч	всего, м^3/ч
1	2	3	4	5
Стенд для сварки (ручн.)	Панели равномерного всасывания	2	1400	2800
Стол сварщика ССН-0,8	Наклонная панель с шарнирно закрепленным козырьком и нижней решеткой	2	1500	3000
То же ССН-3	То же	1	1500	1500

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5
То же ССН-1	То же	2	1500	3000
Стол для зачистки сварных узлов	Панели равномерного всасывания	4	1400	5600
Стенд для сварки (п/авт., 1/38кг/ч)	То же	1	1400	1400
Стенд для сварки (п/авт, 1,3кг/ч)	То же	1	1400	1400
Стол для сварки с кантователем	Отсос с надвижным укрытием	1	1200	1200
Универсальный заточной станок 3б641	Защитно обеспыливающий кожух	2	300	600
Заточной станок полуавтомат	То же	3	450	1350
Алмазно-заточной станок 3Б632В	То же	2	630	1260
Закалочная ванна	Бортовой отсос	1	1996	1996
				∑25106

2.2 Определение объемов общеобменной вентиляции

2.2.1 Расчет вредных выделений

Для сварочного отделения:

$$M_{вр} = G \cdot m \cdot n \cdot (1 - \eta) \quad (2.5)$$

Для механического отделения:

$$M_{вр} = V_p \cdot \tau_p \cdot n \cdot (1 - \eta) \cdot m_p \quad (2.6)$$

Для металлорежущих станков:

$$M_{вр} = N_у \cdot m \cdot n\ , \qquad (2.7)$$

где m – удельные выделения вредного вещества, г/кг;

G – расход сварочного материала, кг/ч;

η – эффективность местного отсоса, 0,7-0,8;

N – количество станков;

V_p – скорость резки, м/мин;

τ_p– время резки (20-25 минут);

m_p – удельное выделение вредного вещества, г/м.

Сварочное отделение:

$M_{вр} = 0{,}73 \cdot (4{,}9 + 0{,}13 + 17{,}8) \cdot 2 \cdot (1 - 0{,}8) = 6{,}67$г/ч;

$M_{вр} = 0{,}56 \cdot (13{,}6 + 0{,}51) \cdot 2 \cdot (1 - 0{,}8) = 3{,}16$г/ч;

$M_{вр} = 0{,}69 \cdot (15{,}3 + 0{,}42) \cdot 1 \cdot (1 - 0{,}8) = 2{,}17$г/ч;

$M_{вр} = 1{,}2 \cdot (8 + 0{,}5 + 0{,}02 + 14) \cdot 2 \cdot (1 - 0{,}8) = 10{,}81$г/ч;

$M_{вр} = 1{,}38 \cdot (8 + 0{,}5 + 0{,}02 + 14) \cdot 1 \cdot (1 - 0{,}8) = 6{,}22$г/ч;

$M_{вр} = 1{,}3 \cdot (12 + 0{,}14 + 0{,}2) \cdot 1 \cdot (1 - 0{,}8) = 3{,}21$г/ч;

$M_{вр} = 0{,}97 \cdot (12 + 0{,}14 + 0{,}2) \cdot 1 \cdot (1 - 0{,}8) = 2{,}39$г/ч;

$M_{вр} = 0{,}5 \cdot 25 \cdot 1 \cdot (1 - 0{,}8) \cdot (0{,}6 + 1{,}4 + 1{,}1 + 2{,}5) = 14$г/ч;

$M_{вр} = 0{,}3 \cdot 25 \cdot 1 \cdot (1 - 0{,}8) \cdot (1{,}2 + 2 + 1{,}6 + 5) = 14{,}7$г/ч;

$M_{вр} = 0{,}25 \cdot 25 \cdot 1 \cdot (1 - 0{,}8) \cdot (2{,}4 + 2{,}2 + 2{,}7 + 10) = 21{,}6$г/.

Механическое отделение:

От металлорежущих станков выделяется тепло в количестве 250Вт на 1 кВт установленной мощности, т.е. количество тепла выделяющееся от металлорежущих станков:

$Q_{м.ст.} = 250 \cdot 5{,}5 \cdot 12 = 16500$Вт.

Результаты определения вредных веществ представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Количество вредных выделений

Тип оборудования	Расход G , кг/ч	Кол-во n, шт	МО	Выделения вредных веществ, г/ч								$M_{вр}$
				сварочный аэрозоль	Марганец	Хромовые соединения	Фтористый водород	CO	NiO	N_2O_3	пыль	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Стол для газовой резки стали толщиной 5мм	-	1	-	-	0.6	-	-	1,4	-	1.1	2,5	14
То же толщиной 10мм	-	1	-	-	1,2	-	-	2	-	1,6	5	14,7
То же толщиной 20мм	-	1	-	-	2,4	-	-	2,7	-	2,2	10	21,6
Стенд для сварки(ручн)	0,73	2	+	4,9	-	-	0,13	17,8	-	-	-	6,67
Стол сварщика ССН-0,8	0,56	2	+	13.6	0.51	-	-	-	-	-	-	3,16
То же ССН-3	0,69	1	+	15,3	0,42	-	-	-	-	-	-	2,17
То же ССН-1	1,2	2	+	8	0,5	0,02	-	14	-	-	-	10,81
Стол для зачистки	-	4	+	-	-	-	-	-	-			-
Стенд для сварки (п/авт., 1,38кг/ч)	1,38	1	+	8	0,5	0,02	-	14	-	-	-	6,22
Стенд для сварки (п/авт, 1,3кг/ч)	1,3	1	+	12	0,14	-	-	-	0,2	-	-	3,21
Стол для сварки с кантователем	0,97	1	+	12	0,14	-	-	-	0,2	-	-	2,39
Закалочная ванна	-	1	+	-	-	-	-	-	-	-	-	
Металлорежущий станок	-	12	-	-	-	-	-	-		-	-	Тепло 250х5,5=1375 Вт

2.2.2 Расчет воздухообмена на разбавление теплоизбытков

В теплый период года:

Сварной участок:

1) Температура приточного воздуха $t_п$ равна температуре наружного воздуха:

$t_п$ = 24,6℃;

2) Определяются параметры удаляемого воздуха:

$$t_у=t_п+(t_{р.з}.- t_п)/m, \quad (2.8)$$

где m – коэффициент, зависящий от теплонапряженности помещений для сборочно-сварочных цехов m=0,8.

$t_у$ = 24,6+(27- 24,6)/0,8 = 27,6℃.

3) Рассчитаем суммарный воздухообмен:

$$L_у=\frac{3,6\cdot Q_я-c\cdot\rho\cdot\sum L_{мо}\cdot(t_{р.з.}-t_п)}{c\cdot\rho\cdot(t_{у1}-t_{п1})}+L_{мо} \quad (2.9)$$

$$L_у=\frac{3,6\cdot 58245-1,005\cdot 1,18\cdot 19900\cdot(27-24,6)}{1,005\cdot 1,18\cdot(27,6-24,6)}+19900 = 62918 м^3/ч$$

4) Производим расчет воздухообмена по санитарным нормам исходя из условия, что на 1 человека приходится 20$м^3$/ч свежего воздуха:

$L_{сн}$=20·17=340$м^3$/ч.

В холодный период года:

1) Температура приточного воздуха:

$$t_п=t_в\pm\Delta t_{р.з.} \quad (2.10)$$

$t_п$=15-6=9℃;

2) Температура удаляемого воздуха:

$$t_у = t_п + (t_{р.з.} - t_п)/m \quad (2.11)$$

$t_у = 9 + (15 - 9)/0,8 = 16,5$℃;

$L_у = \frac{3,6 \cdot 13560 - 1,005 \cdot 1,2 \cdot 19900(15-9)}{1,005 \cdot 1,2 \cdot (16,5-9)} + 19900 = 9377$ м^3/ч

Так как $L_{мо} = 19900$м^3/ч $> L_{у,}$ то к расчету принимаем $L_{мо}$.

Необходимо пересчитать температуру приточного воздуха в холодный период года:

$$t_п = t_в - \frac{3,6 \cdot \Delta Q_я}{L \cdot c \cdot \rho}, \quad (2.12)$$

$t_п = t_в - \frac{3,6 \cdot 13560}{19000 \cdot 1,005 \cdot 1,2} = 13$℃.

Так, количество воздуха принимаем по холодному периоду года, $L_п$=19000м^3/ч, а в теплый период года недостающий приток осуществляется за счет аэрации.

Аналогично рассчитываем воздухообмен для остальных участков.

2.2.3 Расчет воздухообмена по газовым вредным выделениям

Рассчитаем суммарный воздухообмен на разбавление вредных выделений по формуле:

$$L_у = \frac{M_{вр} - \sum L_{мо} \cdot (z_{р.з.} - z_{п1})}{z_{у1} - z_{п1}} + L_{мо}, \quad (2.13)$$

где $M_{вр}$ – количество вредных выделений, г/ч, для сварочного участка

$\sum M_{вр.аэр.}$=73800 мг/ч;

$\sum M_{вр.CO}$=64500 мг/ч;

$\sum M_{вр.Mg}$=64100 мг/ч;

$z_{р.з.}$– предельно допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны, $z_{р.з.}$=4мг/м^3 для аэрозоля, 20 мг/м^3- для CO, 4 мг/м^3- для Mg.

$z_{п1}$- 30% от $z_{р.з.}$, $z_{п1}$=1,2мг/м^3.

$L_у = \frac{73800-19900\cdot(4-1,2)}{(4-1,2)}+19900 = 25457$м^3/ч;

$L_у = \frac{64500-19900\cdot(20-6)}{(20-6)}+19900 = 4607$м^3/ч;

$L_у = \frac{64500-19900\cdot(20-6)}{(20-6)}+19900 = 2289$м^3/ч.

2.3 Воздушный баланс

Таким образом, примем к расчету воздухообмен на разбавление избытков явной теплоты. Расходы приточного и вытяжного воздуха представлены в таблице 10.

Результаты, приведенные в сводной таблице воздухообменов указывают на достижение рационального баланса между отводом избытков теплоты и обеспечением достаточного разбавления вредных выделений в разных производственных участках. В теплый период (ТП) расход воздуха возрастает главным образом за счет естественного притока (аэрации) и дополнительной механической вытяжки, что позволяет поддерживать расчетные значения температуры на уровне 24,6-27,6 °C при многократном воздухообмене (от 13,2 до 44,51/ч в зависимости от конкретного участка).

Интенсивный воздухообмен особенно важен в сварном и механическом участках, где теплообразование достигает 58245 и 47164 Вт соответственно. Приточно-вытяжная система в совокупности с местной вытяжкой (19900 м³/ч для сварного участка и 45539-47724 м³/ч для механического) обеспечивает своевременное удаление избытков теплоты и вредных факторов, сохраняя допустимые параметры микроклимата.

Таблица 10 – Расчет воздухообменов

Наименование участка	Период года	Объем помещения V,м^3	Избытки/недостатки	Вытяжная вентиляция							Приточная вентиляция				
				Местная, м^3/ч		Общеобменная, м^3/ч		Всего, м^3/ч	Кратность k,ч$^{-1}$	$t_у$, °С	Общеобменная, м^3/ч		Всего, м^3/ч	Кратность k,ч$^{-1}$	$t_п$, °С
				естественная	механическая	естественная	механическая				естественная	механическая			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Сварной участок	ТП	4752	582455	-	19900	-	43018	62918	13,2	27,6	43018	19900	62918	13,2	24,6
	ХП		135600	-	19900	-	-	19900	4,2	16,5	-	19900	19900	4,2	13
Механический участок	ТП	2671	471664	-	-	-	47724	47724	18	27,6	35375	47724	47724	18	24,6
	ХП		310288	-	-	-	12349	12349	1	16,5	-	12349	12349	18	9
Заточной участок	ТП	462	196667	-	4539	-	16003	20542	44,5	27,6	16003	4539	20542	44,5	24,6
	ХП		97911	-	4539	-	-	4539	6,9	16,5			4539	9,8	8,7
Участок ТВЧ	ТП	238	58933	-	1996	-	4366	6362	26,7	27,6	4366	1996	6362	26,7	24,6
	ХП		16779	-	1996	-	-	1996	0,74	16,5			1996	0,74	12,5

Заточной участок и ТВЧ-участок, несмотря на меньший объем помещений, также характеризуются значительными теплоизбытками (19667 и 5893 Вт соответственно), требующими повышенной кратности воздухообмена: в первом случае – до 44,5 1/ч, а во втором – до 26,7 1/ч.

В холодный период (ХП) при снижении температуры наружного воздуха расчетные расходы воздуха несколько уменьшаются (преимущественно за счет сокращения или полного отсутствия аэрационного притока), однако сохраняется механическая вытяжка в диапазоне 1996-19900 м³/ч.

Данный режим позволяет удерживать внутреннюю температуру в пределах 9-16,5 °С, что соответствует принятому проектному решению по поддержанию допустимых условий в зависимости от технологии и санитарных норм.

Кратность воздухообмена при этом возрастает по мере необходимости удаления вредных газовых и аэрозольных выбросов (до 181/ч и выше в механическом участке), тогда как локальные системы аспирации продолжают отвод основной массы выделений у отдельных стационарных постов.

Таким образом, расчеты подтверждают, что комплексная система вентиляции, включающая механический приток, вытяжку и аэрацию (в теплый период), обеспечивает эффективное разбавление и удаление теплоизбытков на различных технологических участках судостроительного производства.

3 Мероприятия по совершенствованию защиты воздушной среды участка сварочных работ с применением восстановительной вентиляции

3.1 Выбор и обоснование принципиальных решений по вентиляции

Сборочно-сварочные цехи и участки следует снабжать местными (вытяжными) и общеобменными (приточными и вытяжными) механическими вентиляционными установками. Достаточных оснований для проектирования естественных вытяжных установок нет, так как эти цехи не обладают значительными теплоизбытками, являющимися основным энергетическим ресурсом для работы естественной вентиляции.

Приток воздуха в холодный период года (зимний и переходный) должен быть обязательно механическим с подогревом наружного воздуха, полностью компенсирующим объем удаляемого воздуха, в противном случае в помещение поступает холодный воздух через неплотности наружных ограждений, что может вызвать простудные заболевания у работающих.

Рециркуляцию воздуха в сварочных цехах применять не следует, так как вместе с аэрозолями окислов железа при различных видах сварки образуются и другие вещества, более опасные при воздействии на организм человека (окислы марганца, хрома, фтористые соединения, двуокись кремния), при наличии которых рециркуляция воздуха санитарными правилами не разрешается. В теплый период года должно быть предусмотрено естественное поступление наружного не загрязненного вентиляционными и технологическими выбросами воздуха через оконные проемы.

Наиболее эффективным средством вентиляции сборочно-сварочных цехов, как и всех других производств, являются местные отсосы.

Наилучшим вариантом для сварочных цехов является сочетание местной вытяжной и общеобменной приточно-вытяжной Механической вентиляции. Эффективность местных отсосов следует принимать не более

75%, остальные 25% вредных выделений следует учитывать в расчете общеобменной вытяжной вентиляции.

3.2 Выбор и расчет воздухораспределительных устройств

Подача воздуха будет осуществляться горизонтально выше рабочей зоны, так как задача обеспечить притоком весь цех по ширине (18 м).

Для подачи воздуха примем к расчету воздухораспределительные устройства НРВ-6, образующие неполную веерную струю из-за наличия в устройстве лопаток расходящихся под углом.

Скоростной и температурный коэффициенты m и n равны соответственно 2 и 1,6.

Расчет воздухораспределительных устройств произведен по справочным данным Торговникова Б.М.[11].

Определим расход воздуха через один воздухораспределитель:

$$L_0 = \frac{L}{N}, \quad (3.1)$$

Где L – общий расход на участке, м^3/ч;

N – количество воздухораспределителей;

$L_0 = \frac{19900}{8}$=2486м^3/ч (для сварного участка);

Скорость воздуха на выходе из решетки:

$$V_0 = \frac{L_0}{3600 \cdot F_0}, \quad (3.2)$$

где F_0 – площадь живого сечения, м^2;

$V_0 = \frac{2468}{3600 \cdot 0{,}336 \cdot 2}$=1,02м/с;

Определим максимальную скорость воздуха на основном участке струи на входе в рабочую зону:

$$V_x = \frac{m \cdot V_0 \cdot \sqrt{F_0}}{x} \cdot k_c \cdot k_в \cdot k_н, \quad (3.3)$$

где k_c- коэффициент стеснения по [11,табл.3.5] , k_c=1;

$k_в$ – коэффициент взаимодействия между струями, $k_в$=1 для скорости и 1 для температуры;

$k_н$ – коэффициент неизотермичности, $k_н$=1 (охлажденный воздух подается горизонатльно);

x – дальнобойность вертикальной струи, м:

$$x = H_{пом} - h, \quad (3.4)$$

где $H_{пом}$ – высота помещения, м;

h – высота рабочей зоны,м;

x=11-2=9м;

Дальнобойность горизонтальной струи определяется по формуле:

$$y = \frac{x^3}{3 \cdot H^2}, \quad (3.5)$$

где H – геометрическая характеристика струи:

$$H = 5{,}45 \cdot \frac{m \cdot V_0 \cdot \sqrt[4]{F_0}}{\sqrt{n \cdot \Delta t_0}}, \quad (3.6)$$

где Δt_0 – разница между температурой приточного и внутреннего воздуха;

$\Delta t_0 = |10{,}8 - 15| = 4{,}2$℃;

$H = 5{,}45 \cdot \frac{2 \cdot 1{,}02 \cdot \sqrt[4]{2 \cdot 0{,}336}}{\sqrt{1{,}6 \cdot 4{,}2}} = 3{,}9$;

$y = \frac{9^3}{3 \cdot 3{,}5^2} = 16$м;

$V_x = \frac{2 \cdot 1{,}02 \cdot \sqrt{2 \cdot 0.336}}{16} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0{,}1$м/с;

Выполним проверку:

$$V_x \leq \mathrm{k_п} \cdot V_{\text{норм}}, \qquad (3.7)$$

где $\mathrm{k_п}$=2;

$V_{\text{норм}}$=0,4 м/с;

$0{,}1 \leq 2 \cdot 0{,}4$

$0{,}1 \leq 0{,}8$, следовательно, условие выполняется;

Проверим так же допустимая ли температура в струе приточного воздуха:

$$\Delta t_x \leq \Delta t_{\text{доп}} , \qquad (3.8)$$

где Δt_x – максимальная разность температур основного участка струи и температурой воздуха в рабочей зоне:

$$\Delta t_x = \frac{n \cdot \Delta t_0 \cdot \sqrt{F_0}}{x} \cdot \frac{k_{\text{в}}}{k_c \cdot k_{\text{н}}}, \qquad (3.9)$$

$\Delta t_x = \frac{1{,}6 \cdot 4{,}2 \cdot \sqrt{2 \cdot 0{,}336}}{16} \cdot \frac{1}{1 \cdot 1}$=0,34℃

$0{,}34 \leq 2{,}5$ – условие выполняется.

На механическом участке (включая ТВЧ) установим 6 воздухораспределительных устройств, выполним расчет аналогично предыдущему.

$L_0 = \frac{14345}{6}$ = 2390м^3/ч (для сварного участка);

$V_0 = \frac{2390}{3600 \cdot 0{,}336 \cdot 2}$ = 0,98м/с;

x = 11-2 = 9м;

$\Delta t_0 = |10{,}8 - 15| = 4{,}2$℃;

$H = 5{,}45 \cdot \frac{2 \cdot 0{,}98 \cdot \sqrt[4]{2 \cdot 0{,}336}}{\sqrt{1{,}6 \cdot 4{,}2}} = 3{,}8$;

у=$\frac{9^3}{3 \cdot 3{,}8^2}$=17,2м;

$V_x = \frac{2 \cdot 0{,}98 \cdot \sqrt{2 \cdot 0.336}}{17{,}2} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0{,}09$м/с;

$0{,}09 \leq 0{,}8$, следовательно, условие выполняется;

$\Delta t_x = \frac{1{,}6 \cdot 4{,}2 \cdot \sqrt{2 \cdot 0{,}336}}{17{,}2} \cdot \frac{1}{1 \cdot 1} = 0{,}32$℃;

$0{,}32 \leq 2{,}5$ – условие выполняется.

На заточном участке установлено 3 воздухораспределителя РР5, вертикально подающих приточный воздух. РР5 образует веерную струю.

Скоростной и температурный коэффициенты m и n равны соответственно 1,8 и 1,2.

Коэффициенты $k_c, k_в, k_н$ равны соответсвенно: 0,95, 1 для скорости и для температуры, $k_н = \sqrt{1 + \frac{3}{2} \cdot (\frac{9}{7{,}2})^2} = 1{,}8$.

$L_0 = \frac{4539}{3} = 1513$м^3/ч (для сварного участка)

$V_0 = \frac{1513}{3600 \cdot 0{,}096} = 4{,}4$м/с;

х =11-2 = 9м;

$\Delta t_0 = |10{,}8 - 15| = 4{,}2$℃;

$H = 5{,}45 \cdot \frac{1{,}8 \cdot 4{,}4 \cdot \sqrt[4]{0{,}096}}{\sqrt{1{,}2 \cdot 4{,}2}} = 10{,}6$;

$V_x = \frac{1{,}8 \cdot 4{,}4 \cdot \sqrt{0{,}096}}{9} \cdot 0{,}95 \cdot 1 \cdot 1{,}8 = 0{,}46$м/с;

$0{,}46 \leq 0{,}8$, следовательно, условие выполняется;

$\Delta t_x = \frac{1{,}2 \cdot 4{,}2 \cdot \sqrt{0{,}094}}{9} \cdot \frac{0{,}95}{1 \cdot 1{,}8}$=0,1℃;

$0{,}1 \leq 2$ – условие выполняется.

3.3 Аэродинамический расчет систем вентиляции и аспирации

Порядок расчета по удельной потери на трение и потерям в местных сопротивлениях:

– принять за магистраль наиболее протяженную цепочку последовательно расположенных расчетных участков;

– разбить систему вентиляции на расчетные участки и пронумеровать их;

– наметить предварительные скорости воздуха: на ответвлении 4-6м/с, на магистрали- 6-8 м/с, на участках близких к вентилятору до 12м/с;

– используя справочные таблицы, по скоростям и расходу наметить диаметры воздуховода;

– определить действительную скорость движения воздуха по формуле:

$$V = \frac{L}{3600 \cdot F}, \tag{3.10}$$

где L – расчетный расход воздуха на участке, $\frac{м^3}{ч}$;

F – площадь поперечного сечения воздуховода, м^2, определяемая по формуле:

$$F = \frac{\pi d^2}{4}, \tag{3.11}$$

где d –диаметр участка воздуховода, м.

По значению действительной скорости и диаметрам по справочным таблицам определить потери давления R, $\frac{Па}{м}$, по длине и динамическое давление $Р_{дин}$, Па, методом интерполяции;

Определить сумму коэффициентов местных сопротивлений Σξ;

Определить потери давления на местные сопротивления, Па:

$$Z = \Sigma\xi \cdot P_{дин}, \quad (3.12)$$

Рассчитать полные потери давления, Па:

$$\Delta P = R \cdot l + Z, \quad (3.13)$$

где l -длина участка, м;

R – потери давления по длине, м;

Z - потери давления на местные сопротивления, Па.

Увязать ответвления, определив невязку потерь давления по формуле:

$$\frac{\Delta p_м - \Delta p_{от}}{\Delta p_м} \cdot 100\% \leq \pm 15\% \quad (3.14)$$

Есть некоторые отличия от аэродинамического расчета общеобменной вытяжной вентиляции, а именно:

Скорость воздуха в воздуховоде ориентировочно принимается $V_{верт}$ = 19 м/с, $V_{гор} = 23$ м/с;

Расчет проводится по методу скоростных динамичсеких давлений, в котором потери давления воздуховода на трение заменяется эквивалентыми потерями давления на местные сопротивления;

Полные потери давления на участке оперделяются по формуле:

$$\Delta P_{уч} = (\varepsilon_э - \sum \varepsilon) \cdot P_{дин}, \quad (3.15)$$

где $\varepsilon_э$ – приведенный коэффициент трения, равный $\varepsilon_э = \frac{\lambda}{d}$.

Потери давления в ответвлении $\Delta P_{отв}$ и суммарные потери давления на магистральных участках должны удовлетворять условию:

$$\frac{\Delta p_м - \Delta p_{отв}}{\Delta p_м} \cdot 100\% \leq 5\% \quad (3.16)$$

Для увязки участков подбираем конусные диафрагмы.

Аспирационная вытяжная схема В1 представлена на рисунке 1. Расчет аспирационной вытяжной схемы В1 представлен в Приложении.

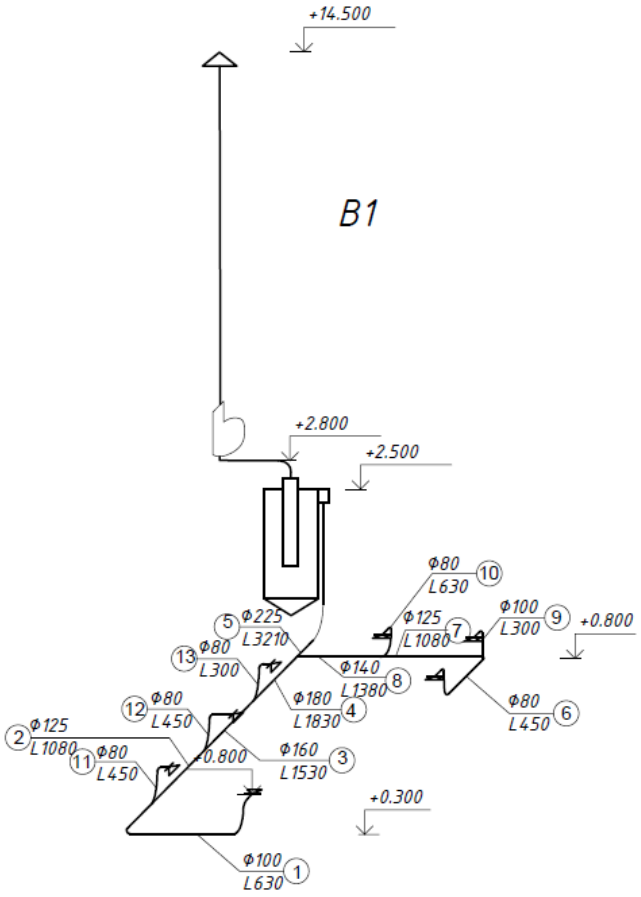


Рисунок 1 – Аксонометрическая схема В1

3.4 Расчет аэрации

Исходя из результатов выше проведенного расчета, выяснено, что большой расход воздуха будет поступать в теплый период года за счет аэрационных проемов. Рассчитаем площади этих проемов согласно методике изложенной Павловым Н.Н. [9].

Расчет аэрации:

Определяем разность давлений наружного и внутреннего воздуха:

$$\Delta p = g(z_2 - z_1)\cdot(\rho_н - \rho_{р.з.}) \quad (3.17)$$

$\Delta p = 9{,}81(13 - 3{,}6)\cdot(1{,}186 - 1{,}177) = 0{,}83$Па;

$\rho_н = \frac{353}{273+24{,}6} = 1{,}186$ кг/м^3;

$\rho_{р.з.} = \frac{353}{273+27} = 1{,}177$ кг/м^3;

Потери давления на прохождение приточного воздуха:

$$\Delta p_1 = \beta\cdot \Delta p, \quad (3.18)$$

где β – доля разницы давлений расходуемой на прохождение воздуха, β=0,2;

$\Delta p_1 = 0{,}2\cdot 0{,}83 = 0{,}166$Па;

Требуемая площадь приточных проемов:

$$F = \frac{G}{\sqrt{\frac{2\cdot\rho_н\cdot\Delta p_1}{\varepsilon_1}}} \quad (3.19)$$

Для сварного участка: $F = \frac{43018/3600\cdot 1.186}{\sqrt{\frac{2\cdot 1{,}186\cdot 0{,}166}{2{,}4}}} = 35$м^2;

Для механического участка: $F = \frac{35375/3600\cdot 1.186}{\sqrt{\frac{2\cdot 1{,}186\cdot 0{,}166}{2{,}4}}} = 29$м^2;

Для механического участка: $F = \frac{(16003+4366)/3600\cdot 1.186}{\sqrt{\frac{2\cdot 1{,}186\cdot 0{,}166}{2{,}4}}} = 17$м^2.

3.5 Расчет и подбор оборудования для создания системы вентиляции

Калориферная установка подбирается в следующем порядке. Определяется общий максимальный расход теплоты на вентиляцию:

$$Q_{\text{в}} = 0{,}278 \cdot G \cdot c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}), \quad (3.20)$$

где $c_{\text{в}}$ – удельная массовая теплоемкость воздуха, $c_{\text{в}} = 1$ кДж/кг · ℃;

G – расход воздуха, кг/ч;

$t_{\text{к}}, t_{\text{н}}$ – конечная и начальная температуры воздуха, ℃.

Определяется площадь живого сечения калориферной установки по воздуху, м^2:

$$f_1 = \frac{G}{3600 \cdot (v_\rho)}, \quad (3.21)$$

где v_ρ – массовая скорость воздуха в калорифере, м/с принимаемая равной 8 м/с.

По ориентировочной величине живого сечения калориферной установки, пользуясь техническими данными [11] подбирается тип и четное количество калориферов, установленных параллельно по воздуху.

Для принятых калориферов в соответствии с техническими данными определяется действительная величина живого сечения по воздуху и действительная площадь поверхности нагрева [11].

Определяется действительная массовая скорость воздуха в живом сечении калориферов по формуле:

$$v_\rho = \frac{G}{3600 \cdot f_{\text{жс}} \cdot m}, \quad (3.22)$$

где m – четное количество калориферов, установленных параллельно по воздуху.

Определяется способ соединения калориферов по воде и количество воды, м^3/ч, проходящей через каждый калорифер:

$$W = \frac{0{,}86 \cdot Q_{\text{в}}}{1000 \cdot (T_1 - T_2) \cdot n}, \quad (3.23)$$

где T_1, T_2 – начальная и конечная температуры теплоносителя (150-70°С);

n – количество калориферов, соединенных параллельно по воде.

Определяется скорость воды в трубках калориферов:

$$w = \frac{W}{3600 \cdot f_{\text{тр}}}, \tag{3.24}$$

Определяется требуемая площадь нагрева калориферной установки:

$$F_{\text{треб}} = \frac{Q_{\text{в}}}{k * \left(\frac{T_1 + T_2}{2} - \frac{t_{\text{н}} + t_{\text{к}}}{2}\right)}, \tag{3.25}$$

Определяется запас площади поверхности нагрева, %, который должен составлять 10-20 %:

$$\text{запас} = \frac{F_{\text{д}} - F_{\text{треб}}}{F_{\text{д}}} \cdot 100\%, \tag{3.26}$$

По [11] определяется аэродинамическое сопротивление калориферной установки.

Расчет калорифера для П1.

1. Общий максимальный расход теплоты:

$Q_{\text{в}} = 0{,}278 \cdot 46541 \cdot 1 \cdot \left(10{,}8 - (-30)\right) = 527887$ Вт;

2. Площадь живого сечения калориферной установки по воздуху:

$$f_1 = \frac{46541}{3600 \cdot 8} = 1{,}6\text{м}^2$$

3. Тип:КВС11-П, f=м^2, количество: 2.

4. $f_{\text{ж.с.}} = 0{,}8665$ м^2(по воздуху), поверхность нагрева : 72м^2, $f_{\text{тр}} = 0{,}00232$ м^2 9(по теплоносителю).

5. Действительная массовая скорость воздуха в живом сечении калориферов:

$v_\rho = \frac{46541}{3600 \cdot 0{,}8665 * 2} = 7{,}4$ м/с;

6. Количество воды, проходящей через калорифер:

$W = \frac{0{,}86 \cdot 527887}{1000 \cdot (150-70) \cdot 2} = 5{,}6$ м^3/ч;

7. Скорость воды в трубках калорифера: $w = \frac{5{,}6}{3600 \cdot 0{,}00232} = 0{,}67$ м/с;

8. Требуемая площадь калориферной установки:

$k = 19{,}77 \cdot 7{,}4^{0{,}32} \cdot 0{,}67^{0{,}13} = 35{,}6$

$$F_{\text{треб}} = \frac{527887}{35{,}6 \cdot \left(\frac{150+70}{2} - \frac{-30+10{,}8}{2}\right)} = 124 \text{ м}^2$$

9. Определяется запас площади поверхности нагрева, %, который должен составлять 10-20%:

$$\frac{2 \cdot 72 - 124}{2 \cdot 72} \cdot 100\% = 14\%$$

10. Аэродинамическое сопротивление: $\Delta P_{\text{кал}} = 44{,}2$Па.

Подбор и расчет воздухозаборных решеток

Площадь живого сечения решеток определяется по формуле:

$$F_{\text{треб}} = \frac{L}{3600 \cdot v}, \quad (3.27)$$

где L – расход общего приточного воздуха, м³/ч;

υ – допустимая скорость, принимаемая равная 4 м/с.

Количество воздухозаборных решеток определяется по формуле:

$$n = \frac{F_{\text{треб.реш}}}{f_{\text{ж.с.}}}, \quad (3.28)$$

где $f_{\text{ж.с.}}$ – площадь живого сечения одной решетки, принимаемая по [9].

Пересчитывается фактическая скорость воздуха в живом сечении воздухозаборных решеток:

$$v_{\text{дейст}} = \frac{L}{3600 \cdot f_{\text{ж.с.}} * n}, \quad (3.29)$$

Потери давления в жалюзийной решетке определяется по формуле:

$$P_{\text{реш}} = \xi \cdot \frac{\rho \cdot v_{\text{дейст}}^2}{2}, \quad (3.30)$$

где ξ – принимается равная 1,4, как КМС воздухозаборной решетки.

$\rho -$ плотность воздуха, $\rho = 1{,}22$ кг/м^3;

$v -$ скорость движения воздуха, м/с.

Расчет воздухозаборной решетки.

1. $F_{\text{треб}} = \frac{38784}{3600 \cdot 4} = 2{,}69$ м^2;

2. Принимается решетка Р305 с $f_{\text{ж.с.}} = 0{,}73$

$n = \frac{2{,}69}{0{,}73} = 4;$

3. $v_{\text{дейст}} = \frac{38784}{3600 \cdot 0{,}73 \cdot 4} = 3{,}69$ м/с

4. $P_{\text{реш}} = 1{,}4 \frac{1{,}2 \cdot 3{,}69^2}{2} = 11$ Па.

Расчет и подбор утепленного клапана

$$F_{\text{тр}} = \frac{38784}{3600 \cdot 5} = 2{,}1 \text{ м}^2$$

По [9] подбираем КЭ0,5-3 с электроприводовм с $F_{\text{ж.с.}} = 2{,}6$м^2.

$v_{\text{дейст}} = \frac{38784}{3600 \cdot 2{,}6} = 4{,}1$м/с;

Потери давления в утепленном клапане принимаются равными

$\Delta P_{\text{кл}} = 20$ Па.

Потери давления на фильтре принимаются равными 60 Па.

Подберем вентилятор на приточную систему

По расходу с 10 % запасом: 42660 м3/ч, полное давление:

$P_{\text{в}} = 1{,}1 \cdot (173 + 20 + 11 + 44{,}2 + 60) = 339$Па.

Результат подбора вентилятора Веза представлена на рисунке 2.

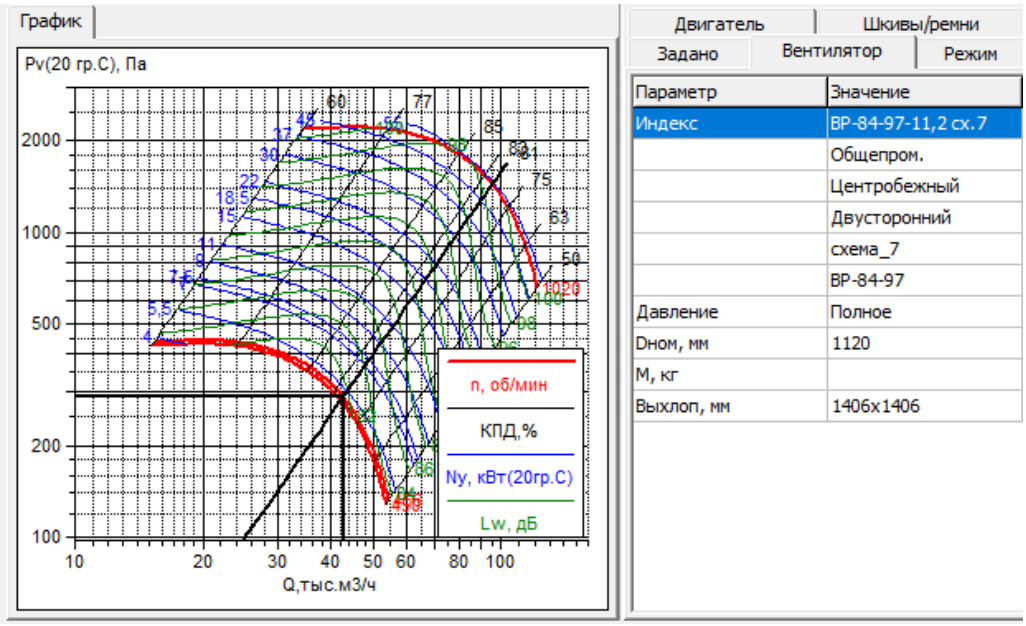


Рисунок 2 – Подбор вентилятора для системы П1

Подберем вентилятор удаления воздуха для аспирационной системы с параметрами.

L = 3210· 1,1 =3531м^3/ч и давлением Р = 3130Па.

Результат подбора представлен на рисунке 3.

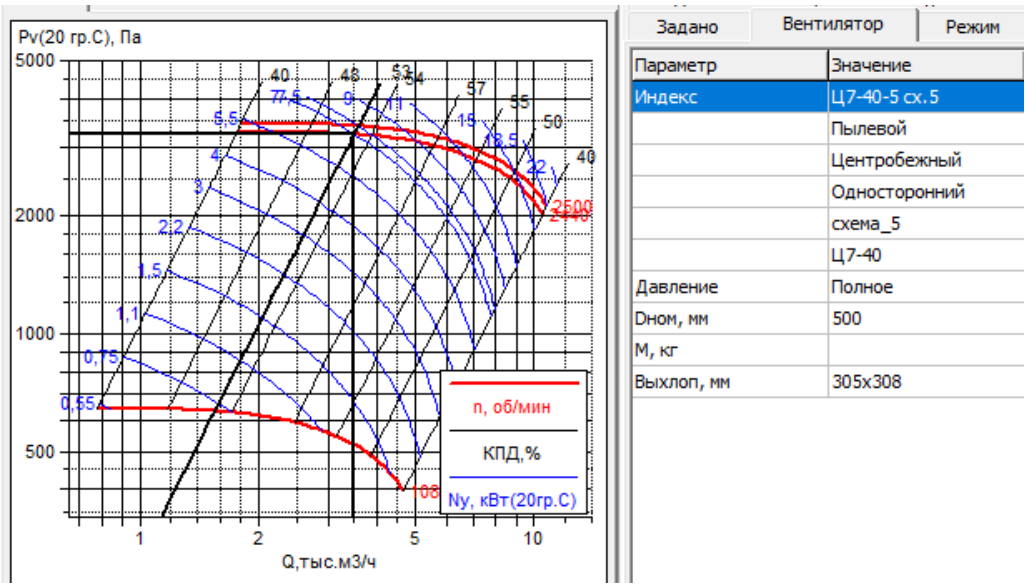
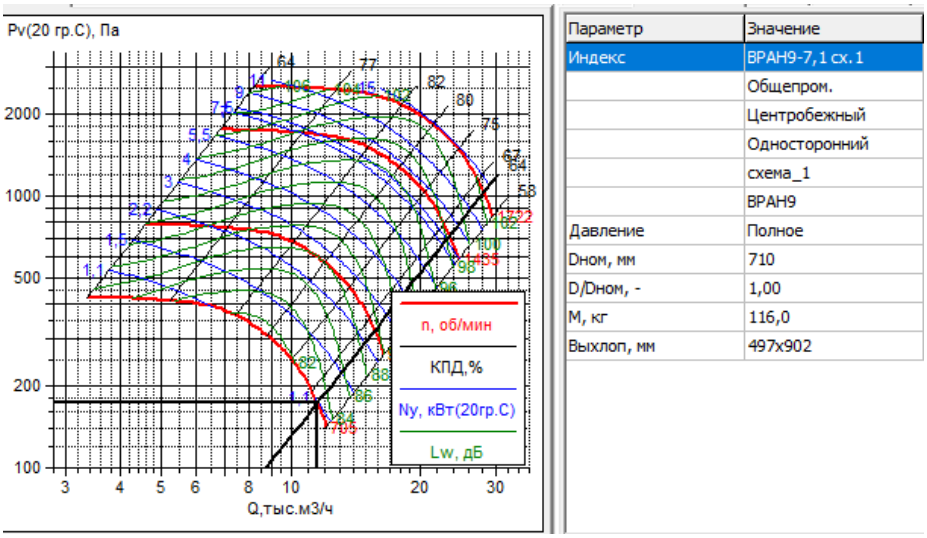


Рисунок 3 – Результат подбора вентилятора для системы аспирации

Вентилятор для системы В2:

L = 10500· 1,1 =11550м^3/ч и давлением Р = 152Па.

Результат подбора представлен на рисунке 4.



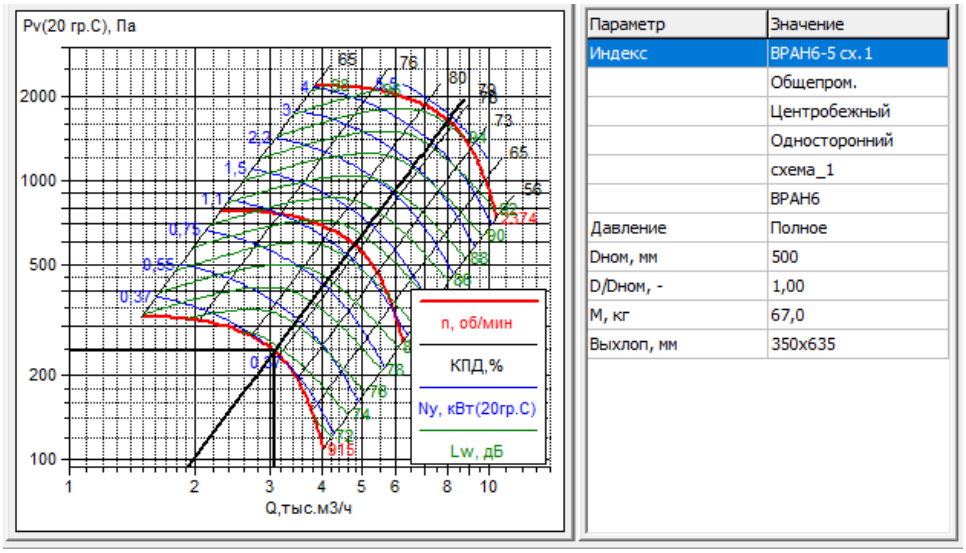
Параметр	Значение
Индекс	ВРАН9-7,1 сх.1
	Общепром.
	Центробежный
	Односторонний
	схема_1
	ВРАН9
Давление	Полное
Dном, мм	710
D/Dном, -	1,00
М, кг	116,0
Выхлоп, мм	497x902

Рисунок 4 – Подбор вентилятора для системы В2

Вентилятор для системы В3:

L = 2800· 1,1 =3080м^3/ч и давлением Р = 147Па.

Результат подбора представлен на рисунке 5.



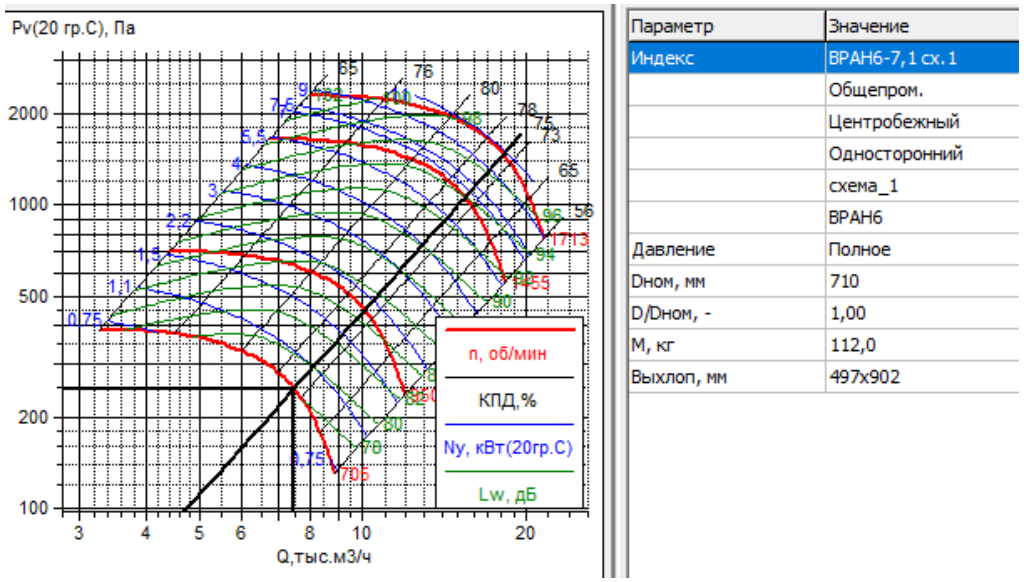
Параметр	Значение
Индекс	ВРАН6-5 сх.1
	Общепром.
	Центробежный
	Односторонний
	схема_1
	ВРАН6
Давление	Полное
Dном, мм	500
D/Dном, -	1,00
М, кг	67,0
Выхлоп, мм	350x635

Рисунок 5 – Подбор вентилятора для системы В3

Вентилятор для системы В4:

L = 6800· 1,1 =7480м^3/ч и давлением Р = 214Па.

Результат подбора представлен на рисунке 6.



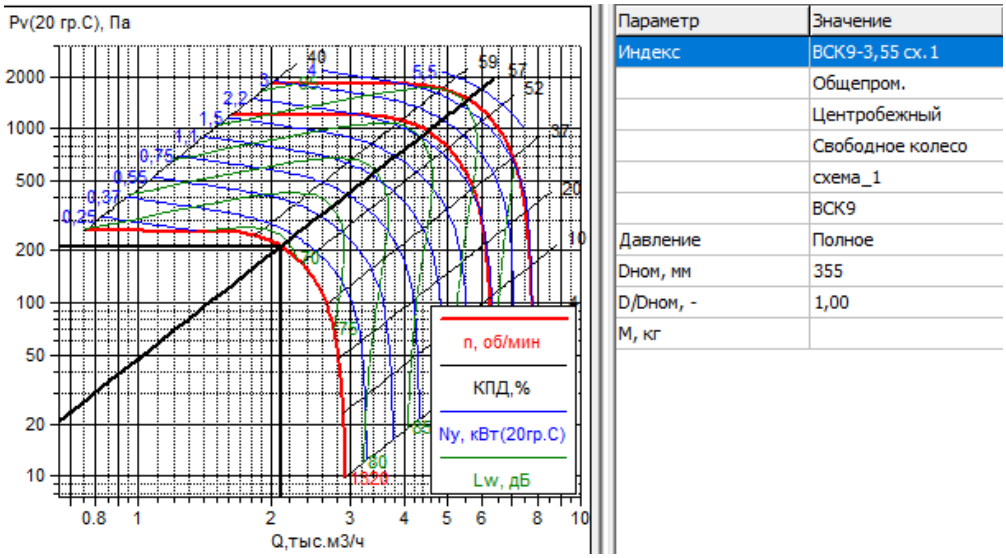
Параметр	Значение
Индекс	ВРАН6-7,1 сх.1
	Общепром.
	Центробежный
	Односторонний
	схема_1
	ВРАН6
Давление	Полное
Dном, мм	710
D/Dном, -	1,00
M, кг	112,0
Выхлоп, мм	497x902

Рисунок 6 – Подбор вентилятора для системы В4

Вентилятор для системы В5:

L = 1996· 1,1 = 2100м^3/ч и давлением Р = 93Па.

Результат подбора представлен на рисунке 7.



Параметр	Значение
Индекс	ВСК9-3,55 сх.1
	Общепром.
	Центробежный
	Свободное колесо
	схема_1
	ВСК9
Давление	Полное
Dном, мм	355
D/Dном, -	1,00
M, кг	

Рисунок 7 – Подбор вентилятора для системы В5

Осуществим удаление воздуха в теплый период при помощи общеобменной вытяжной вентиляции в виде удаления через крышные вентиляторы:

Для сварного участка в теплый период года помимо удаления воздуха через систему МО, необходимо удалить воздух, поступивший с помощью аэрационных проемов: Ly=43018м^3/ч.

Подберем пять вентиляторов КРОС60, расход одного вентилятора L_1 =8600 м^3/ч (схема В6,В7,В8, В9,В10). Характеристика вентилятора представлена на рисунке 8, под номером 3.

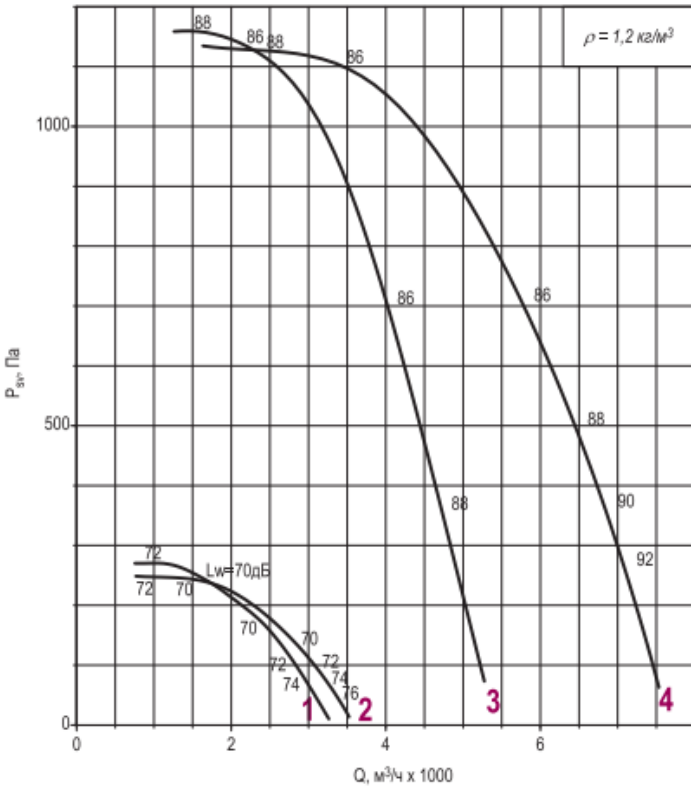


Рисунок 8 – Характеристика крышного вентилятора КРОС60

На механическом участке в холодный период года необходимо удалить $L_у^{хп}$ = 12349м^3/ч, а в теплый период года $L_у^{тп}$ = 47724.

Для холодного период года подберем два крышных вентилятора КРОС60 с расходом L1=6174 м3/ч (схемы В11, В12), характеристика которого представлена на рисунке 14, характеристика № 3.

Тогда в теплый период года подберем вентиляторы, на оставшийся расход воздуха: $L_{у}^{тп}$=47724-12349=35375м^3/ч

Подберем четыре вентилятора КРОС60 с расходом по 8840м3/ч (схема В13, В14, В15, В16), характеристика на рисунке 14.

На заточном участке необходимо удалить 16003м3/ч, установим вытяжную механическую систему, удаление воздуха будем производить через стены, расчет приведен в таблице 11.

Таблица 11 – Аэродинамический расчет системы В18

№ уч-ка	L,м^3/ч	*l*, *м*	Воздуховоды d, мм	Воздуховоды f,м^2	V, м/с	R,Па/м	R*l*, Па	Σξ	Рд, Па	Z, Па	R*l*+Z,Па	Σ(R*l*+Z),Па	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Магистраль В18													
Р-Н				0,32	6,9			3	29	86	86	86	
1	8000	2	560	0,25	9,0	1,19	2,38	3,02	49	148	149	235	2 отвод 90
Р-Н				0,32	6,9			3	29	86	86	86	Отв.90
2	16003	11,1	630	0,31	14,3	0,263	2,9193	3,02	122	369	369	455	Отв.90
Ответвление													
3	8000	2	560	0,25	9,0	1,19	2,38	3,02	49	148	149	149	

На участке ТВЧ установим один крышной вентилятор КРОСС60, для удаления расхода воздуха Ly = 4366м3/ч (рисунок 9).

В качестве очистки вентиляционных выбросов подобран циклон ЦН-24-500 по заданном количеству удаляемого воздуха 3210м$_3$/ч. Потери давления составят 911 Па.

Расчет и подбор воздушно тепловых завес выполнен согласно методике, изложенной в справочнике проектировщика [9].

Исходные данные для расчета представлены в таблице 12.

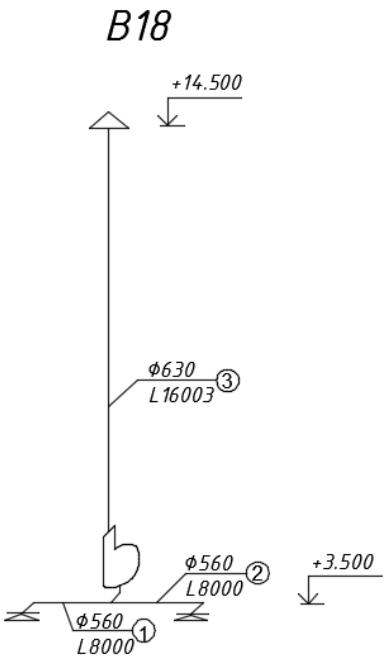


Рисунок 9 – Аксонометрическая схема В18

Таблица 12 – Исходные данные для расчета

Параметр	Значение
$h_{зд}$,м	13
$F_{пр}$, м^2	4х3 = 12
$t_н$, °С	-30
$\rho_н$, кг/м^3	1,45
$t_в$, °С	15
$\rho_в$, кг/м^3	1,23
$t_с$, °С	14
$\rho_с$, кг/м^3	1,229

Значение $\bar{q} = 0{,}65$ принимается по справочном данным, для раздвижного проема $\mu_{пр} = 0{,}3$.

По для принятых размеров ворот и высоте здания расчетная величина $h_{расч} = 0{,}5 \cdot 4 = 2$м

Расчетная разность давлений определяется по формуле:

$$\Delta P = 9{,}8 \cdot 2 \cdot (1{,}45 - 1{,}23) + 0{,}5 \cdot (0{,}8 \cdot 5.4^2 \cdot \frac{1{,}45}{2}) = 12{,}77 \text{Па}.$$

Общий расход воздуха

$$G_з = 5100 \cdot 0{,}65 \cdot 0{,}3 \cdot 12 \cdot \sqrt{12{,}77 \cdot 1{,}229} = \frac{47278 \text{ кг}}{\text{ч}}$$

По справочнику подбираем выбираем 3ВТ3-5 с $G_з = 52400 \frac{кг}{ч}$ и $\bar{F} = 14$

Пересчитывается коэффициент $\bar{q}$ на фактическое значение:

$$\bar{q} = \frac{52400}{5100 \cdot 0{,}3 \cdot 12 \cdot \sqrt{12{,}77 \cdot 1{,}229}} = 0{,}72;$$

Требуемая температура воздуха, подаваемого завесой:

$$t_з = -30 + \frac{14+30}{0{,}72(1-0{,}1)} = 37{,}9°C\ ;$$

Требуемая суммарная тепловая мощность калориферов завесы вычисляется по формуле:

$$Q_з = 0{,}28 \cdot 52400 \cdot (37{,}9 - 14) = 350661 Вт.$$

При ширине щели $b_s = 0{,}15$ м, скорость выпуска воздуха из щелей завесы определяется по формуле:

$\upsilon_s = \frac{52400}{2 \cdot 3600 \cdot 0{,}15 \cdot 3 \cdot 1{,}135} = 14{,}2 \frac{м}{с} < 25 м/с$, условие выполнено.

Сопротивление завесы равно:

$$\Delta p_3 = 2 \cdot 1{,}135 \cdot \frac{14{,}2^2}{2} = 229 Па.$$

4 Охрана труда

В рамках проекта «Система защиты воздушной среды сварочного цеха с применением восстановительной вентиляции» на АО «ПО «Севмаш» проведена идентификация и анализ профессиональных рисков для основных рабочих мест (профессий), задействованных в сварочном цехе.

В соответствии с Приказом Минтруда России от 29.10.2021 № 776н составлен реестр профессиональных рисков на рабочих местах:

1. Сварщик ручной дуговой сварки.
2. Сварщик полуавтоматической сварки (MIG/MAG-процессы).
3. Электрогазосварщик (участок термической резки).

Таблица 1 – Характеристика рабочего места

Наименование рабочего места	Оборудование, инструмент на рабочем месте	Материалы, вещества	Виды выполняемых работ, трудовых операций
Сварщик ручной дуговой сварки	Сварочные аппараты (инверторы для ММА), клеммы заземления, электрододержатели, защитная спецодежда (огнеупорная), щиток со светофильтром, СИЗ органов дыхания	Электроды различных марок, металлические заготовки (листы, профили), флюсы	Ручная дуговая сварка металлоконструкций, прихватка и подварка деталей, подготовка кромок, зачистка швов, визуальный контроль качества сварного шва
Сварщик полуавтоматической сварки (MIG/MAG)	Полуавтоматические аппараты (подача проволоки), редукторы для защитного газа, личные СИЗ (спецодежда, маска с автозатемнением), локальные вытяжные зонты	Сварочная проволока (углеродистая, нержавеющая), баллоны с защитным газом (Ar, CO_2), металлические заготовки	Сварка конструкций из углеродистых и легированных сталей, настройка параметров полуавтомата, контроль сварного шва, мелкий ремонт оборудования
Электрогазосварщик (участок термической резки и сварки)	Газовые резаки, газовые шланги, редукторы, сварочные аппараты, баллоны с кислородом/ацетиленом/пропаном, СИЗ (маска, перчатки, спецодежда)	Кислород, пропан, ацетилен, сварочные газы, металлические профили, порошковые материалы (для наплавки)	Газовая резка металлоконструкций, подготовка к сварке, ручная дуговая и газоэлектрическая сварка, восстановительные работы, осмотр/проверка качества шва

Таблица 2 – Реестр рисков на рабочем месте

№	Опасность	ID	Опасное событие
1	Поражение электрическим током	R1	Контакт работника с токоведущими частями при поврежденной изоляции, неправильном подключении
2	Термические ожоги и травмы при работе с расплавленным металлом	R2	Ожоги от брызг сварочной ванны, горячих деталей, неосторожное обращение с газовым пламенем
3	Химические и токсические воздействия сварочных аэрозолей и газов	R3	Вдыхание паров металлов, сварочных газов (CO, NO_x, озон) при недостаточной вентиляции
4	Взрывоопасность газовых баллонов и смесей	R4	Утечка, разгерметизация кислородных или ацетиленовых баллонов, риск взрыва
5	Подскальзывание на металлических отходах и обрезках	R5	Травмы при падении из-за стружки, пролитых технологических жидкостей
6	Механические травмы при обслуживании сварочного оборудования	R6	Порезы, ушибы, повреждения кистей при настройке механизмов подачи проволоки, заточке электродов

Согласно Приказу Минтруда России от 28.12.2021 № 926, для каждой опасности определяются вероятность (A) и тяжесть (U), результаты сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Анкета рабочего места

Рабочее место	Опасность	Опасное событие	Степень вероятности, A	Коэффициент, A	Тяжесть последствий, U	Коэффициент, U	Оценка риска, R	Значимость оценки риска
Сварщик ручной дуговой сварки	Поражение электротоком (R1)	Контакт с поврежденными проводами, пробой изоляции	Маловероятно	2	Крупная	4	8	Низкий (1–8)
Сварщик ручной дуговой сварки	Термические ожоги (R2)	Ожоги при случайном попадании раскаленного металла	Возможно	3	Незначительная	2	6	Низкий (1–8)
Сварщик полуавтоматической сварки (MIG/MAG)	Химическое воздействие (R3)	Вдыхание сварочных аэрозолей, токсичных газов при неэффективной вентиляции	Вероятно	4	Значительная	3	12	Средний (9–17)

Продолжение таблицы 3

Рабочее место	Опасность	Опасное событие	Степень вероятности, A	Коэффициент, A	Тяжесть последствий, U	Коэффициент, U	Оценка риска, R	Значимость оценки риска
Электрогазосварщик (термическая резка, сварка)	Взрывоопасность газовых баллонов (R4)	Утечка пропана, ацетилена, кислорода, с возможным взрывом	Маловероятно	2	Крупная	4	8	Низкий (1–8)
Электрогазосварщик (термическая резка, сварка)	Подскальзывание (R5)	Падение из-за накопления металлического лома, пролитого масла	Возможно	3	Незначительная	2	6	Низкий (1–8)
Сварщик полуавтоматической сварки (MIG/MAG)	Механические травмы (R6)	Порезы и ушибы при ремонте подачи проволоки, заточке, замене расходных элементов	Возможно	3	Значительная	3	9	Средний (9–17)

Таблица 4 – Оценка вероятности

Степень вероятности		Характеристика	Коэффициент, A
1	Весьма маловероятно	- Практически исключено - Зависит от следования инструкции - Нужны многочисленные поломки/отказы/ошибки	1
2	Маловероятно	- Сложно представить, однако может произойти - Зависит от следования инструкции - Нужны многочисленные поломки/отказы/ошибки	2
3	Возможно	- Иногда может произойти - Зависит от обучения (квалификации) - Одна ошибка может стать причиной аварии/инцидента/несчастного случая	3

Продолжение таблицы 4

Степень вероятности		Характеристика	Коэффициент, А
4	Вероятно	- Зависит от случая, высокая степень возможности реализации - Часто слышим о подобных фактах - Периодически наблюдаемое событие	4
5	Весьма вероятно	- Обязательно произойдет - Практически несомненно - Регулярно наблюдаемое событие	5

Таблица 5 – Оценка степени тяжести последствий

Тяжесть последствий		Потенциальные последствия для людей	Коэффициент, U
5	Катастрофическая	- Групповой несчастный случай на производстве (число пострадавших 2 и более человек); - Несчастный случай на производстве со смертельным исходом; - Авария; - Пожар;	5
4	Крупная	- Тяжелый несчастный случай на производстве (временная нетрудоспособность более 60 дней); - Профессиональное заболевание. - Инцидент	4
3	Значительная	- Серьезная травма, болезнь и расстройство здоровья с временной утратой трудоспособности продолжительностью до 60 дней; - Инцидент	3
2	Незначительная	- Незначительная травма - микротравма (легкие повреждения, ушибы), оказана первая медицинская помощь. - Инцидент, - Быстро потушенное загорание.	2
1	Приемлемая	- Без травмы или заболевания; - Незначительный, быстроустранимый ущерб	1

4. На рисунке 1 показана диаграмма, где по оси X расположены – R1, R2, R3, R4, R5, R6, а по оси Y – соответствующие значения R:

- R1 = 8
- R2 = 6

- R3 = 12
- R4 = 8
- R5 = 6
- R6 = 9

Риски со значением 9-17 (R3 и R6) относятся к среднему уровню. В случае высоких рисков (18-25) требуются неотложные корректирующие меры.

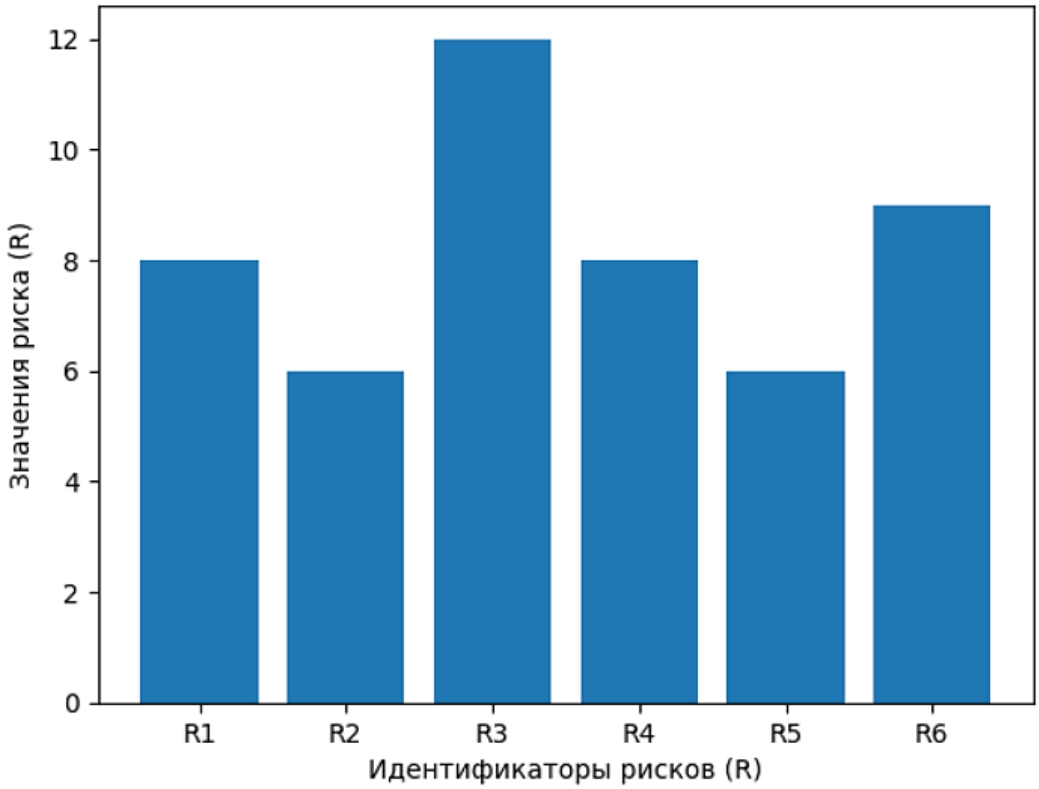


Рисунок 1 – Диаграмма рисков

Для среднего уровня (R3, R6) необходимо:

1. Повысить эффективность восстановительной вентиляции и систем фильтрации (особенно при полуавтоматической сварке).

2. Усилить контроль над использованием респираторов и менять фильтры своевременно.

3. Проводить дополнительные инструктажи.

4.1 Охрана окружающей среды и экологическая безопасность

В таблице 1 представлены основные аспекты воздействия на окружающую среду при выполнении сварочных операций в АО «ПО «Севмаш».

Таблица 1 – Антропогенная нагрузка на окружающую среду

Наименование объекта	Подразделение	Воздействие на атмосферный воздух	Воздействие на водные объекты	Отходы
Сварочный цех (участок сварочных работ)	Сварочный цех	Аэрозольные выбросы (CO_2, NO_x, озон, мелкодисперсные частицы металлов), продукты сгорания защитных газов	Прямых сбросов в водные объекты нет. При необходимости промывки расходных узлов (например, водяные охлаждения) – стоки направляются на локальные очистные сооружения	Обрезки металла, сварочная проволока, отработанные фильтры вентиляции, шлаки, остатки флюсов
Газорезательный участок	Сварочный цех	Продукты сгорания ацетилена/пропана (CO, NO_x, CO_2), аэрозоли металлов при газовой резке	При промывках оборудование дает небольшие объемы вод, которые проходят локальную фильтрацию	Лом металла, окалина, загрязненная ветошь
Дизель-генераторы резервного питания	Энергетический участок	Выбросы (NO_x, SO_2, CO, частицы сажи) при сгорании дизтоплива	Прямых сбросов в водные объекты нет	Отработанные масла, ветошь, фильтры

Таблица 2 – Сведения о применяемых на объекте технологиях

N п/п	Структурное подразделение (площадка, цех или другое)		Наименование технологии	Соответствие наилучшей доступной технологии
	Номер	Наименование		
2	1	Сварочный цех	Полуавтоматическая (MIG/MAG) и ручная дуговая сварка	Соответствует НДТ частично, требуется модернизация системы локальной вытяжки и восстановительной вентиляции
3	2	Сварочный цех (газовая резка)	Газокислородная и пропановая резка	Частичное соответствие при регулярном контроле оборудования и соблюдении безопасных норм хранения газов
4	3	Энергетический участок	Эксплуатация дизель-генераторов (резервный режим)	Соответствует НДТ при соблюдении регламентов ТО и норм выбросов
5	4	Общезаводские системы	Восстановительная вентиляция сварочного цеха	Соответствует НДТ при установке эффективных блоков фильтрации, контроля рециркуляции воздуха

3. Результаты производственного контроля в области охраны атмосферного воздуха

Таблица 3.1 – Перечень загрязняющих веществ, включенных в план-график контроля стационарных источников выбросов

N п/п	Наименование загрязняющего вещества
1	Оксиды азота (NO_x)
2	Оксид углерода (CO)
3	Взвешенные частицы (аэрозоли металлов)

Таблица 3.2 – Результаты контроля стационарных источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух

N п/п	Структурное подразделение (площадка, цех или другое)		Наименование загрязняющего вещества	Предельно допустимый выброс или временно согласованный выброс, г/с	Фактический выброс, г/с	Превышение предельно допустимого выброса или временно согласованного выброса в раз (гр. 8 / гр. 7)	Дата отбора проб	Общее количество случаев превышения предельно допустимого выброса или временно согласованного выброса	Примечание
	Номер	Наименование							
1	1	Сварочный цех	Оксиды азота (NO_x)	0,03	0,035	1,17	15.02.2025	1	Выявлено незначительное превышение, выдано предписание
2	2	Сварочный цех	Оксид углерода (CO)	0,02	0,018	0,90	15.02.2025	0	Нет превышений
3	3	Сварочный цех	Взвешенные частицы (аэрозоли металлов)	0,02	0,02	1,00	15.02.2025	0	Уровень соответствует нормативу
4	4	Энергетический участок (ДГУ)	Оксиды азота (NO_x)	0,015	0,015	1,00	15.02.2025	0	Показатель в пределах нормы
Итог								1 Превышение NO_x	Зафиксирован 1 случай превышения по NO_x

4. Результаты производственного контроля в области охраны и использования водных объектов

Таблица 4.1- Результаты проведения проверок работы очистных сооружений

Тип очистного сооружения	Год ввода в эксплуатацию	Сведения о стадиях очистки, с указанием сооружений очистки сточных вод, в том числе дренажных, вод, относящихся к каждой стадии	Объем сброса сточных, в том числе дренажных, вод, тыс. $м^3$/сут.; тыс. $м^3$/год			Наименование загрязняющего вещества или микроорганизма	Дата контроля (дата отбора проб)	Содержание загрязняющих веществ, мг/$дм^3$			Эффективность очистки сточных вод, %	
			Проектный	Допустимый, в соответствии с разрешительным документом на право пользования водным объектом	Фактический			Проектное	Допустимое, в соответствии с разрешением на сброс веществ и микроорганизмов в водные объекты	Фактическое	Проектная	Фактическая
Локальные фильтры промывочных вод	2020	1) Механическая фильтрация2) Отстаивание3) Сорбционный блок	Проектный: 1,5 тыс. м³/сут.; Фактический: 1,4 тыс. м³/сут.; 1,3 тыс. м³/сут			Взвешенные вещества	10.02.2025	12	18	3	92	90
Система обезжиривания промывочных	2022	1) Коалесцирующие картриджи 2) УФ-обеззараживание	Проектный: 1,2 тыс. м³/сут.; Фактический: 1,1 тыс. м³/сут.; 1,08 тыс. м³/сут			Нефтепродукты	12.03.2025	10	8	2	93	88

4.2 Защита в чрезвычайных и аварийных ситуациях

ПАСПОРТ БЕЗОПАСНОСТИ

Акционерное общество «ПО «Севмаш»
(наименование объекта (территории)

г. Северодвинск, Архангельская область
(наименование населенного пункта)

2025 г.

I. Общие сведения об объекте (территории)

АО «ПО «Севмаш» (частная собственность)
(наименование органа (организации), в ведении которого находится объект (территория), адрес, телефон, факс, адрес электронной почты)

Адрес: 164500, Архангельская область, г. Северодвинск, Архангельское шоссе, д. 58.

(адрес объекта (территории), телефон, факс, адрес, электронной почты)

ОКВЭД 30.11 – строительство кораблей, судов и плавучих конструкций
(основной вид деятельности органа (организации), в ведении которого находится объект (территория)

3 категория
(категория объекта (территории)

8000 м², протяженность периметра – 500 м
(общая площадь объекта (территории), кв. метров, протяженность периметра, метров)

Свидетельство государственной регистрации № 1082902001401
(сведения о государственной регистрации права на объект недвижимого имущества)

(ф.и.о. должностного лица, осуществляющего непосредственное руководство деятельностью работников на объекте (территории), служебный и (или) мобильный телефоны, факс, адрес электронной почты)

(ф.и.о. руководителя органа (организации), в ведении которого находится объект (территория), служебный и (или) мобильный телефоны, факс, адрес электронной почты)

II. Сведения о работниках (сотрудниках) объекта (территории) и иных лицах, находящихся на объекте (территории)

1. Режим работы объекта (территории)

Понедельник–пятница, с 08:00 до 17:00
(продолжительность, начало и окончание рабочего дня)

2. Общее количество работников (сотрудников) объекта (территории) 31658. (человек)

3. Среднее количество находящихся на объекте (территории) в течение рабочего дня работников (сотрудников) объекта (территории), работников (сотрудников), осуществляющих

охрану объекта (территории), арендаторов и иных лиц, осуществляющих безвозмездное пользование имуществом, находящимся на объекте (территории), 25000. (человек)

4. Среднее количество находящихся на объекте (территории) в нерабочее время, ночью, в выходные и праздничные дни работников (сотрудников) объекта (территории), работников (сотрудников), осуществляющих охрану объекта (территории), арендаторов и иных лиц, осуществляющих безвозмездное пользование имуществом, находящимся на объекте (территории), 500-800. (человек)

5. Сведения об арендаторах и иных лицах, осуществляющих безвозмездное пользование имуществом, находящимся на объекте (территории)

«Арендаторы отсутствуют».

(полное и сокращенное наименование организации, основной вид деятельности, общее количество работников (сотрудников), расположение рабочих мест на объекте (территории), занимаемая площадь (кв. метров), режим работы, ф.и.о., номера телефонов (служебного, мобильного) руководителя организации, срок действия аренды и (или) иные условия нахождения (размещения) на объекте (территории)

III. Сведения о потенциально опасных участках и (или) критических элементах объекта (территории)

1. Потенциально опасные участки объекта (территории) (при наличии)

N п/п	Наименование	Количество человек, находящихся на участке, человек	Общая площадь, кв. метров	Характер террористической угрозы	Характер возможных последствий
1	Сварочный цех (участок сварки)	100–200/смена	2000	Взрыв газовых баллонов, поджог, диверсия	Разрушение постов, выброс токсичных газов, угроза жизни персонала, остановка судостроительного процесса
2	Склад газовых баллонов	10–15	100	Подрыв, диверсия, несанкционированный доступ к газам	Массовое разрушение при взрыве, пожар, повреждение соседнего оборудования

2. Критические элементы объекта (территории) (при наличии)

N п/п	Наименование	Количество человек, находящихся на участке, человек	Общая площадь, кв. метров	Характер террористической угрозы	Характер возможных последствий
1	Электрощитовая (6/0,4 кВ)	5-7	50	Подрыв, вывод из строя, диверсия	Обесточивание оборудования, остановка системы вентиляции
2	Система восстановительной вентиляции	3-5	80	Отключение/повреждение	Скопление сварочных аэрозолей, опасность отравления персонала

3. Возможные места и способы проникновения на объект (территорию)

Центральный КПП, запасной проезд для автотранспорта, возможное преодоление ограждения по периметру

4. Наиболее вероятные средства поражения, которые могут применяться при совершении террористического акта

Взрывные устройства, поджог, химическое отравление реагентами

IV. Прогноз последствий совершения террористического акта на объекте (территории)

1. Предполагаемые модели действий нарушителей

Модели действий: взрыв баллонов, саботаж вентиляции, поджог склада, захват заложников

(краткое описание основных угроз совершения террористического акта на объекте (территории), возможность размещения на объекте (территории) взрывных устройств, захват заложников из числа работников и иных лиц, находящихся на объекте (территории), наличие рисков химического, биологического и радиационного заражения (загрязнения)

2. Возможные последствия совершения террористического акта на объекте (территории)

Масштабные разрушения, пожар, токсичные выбросы, угроза тысячам сотрудников

(площадь возможной зоны разрушения (заражения) в случае совершения террористического акта, кв. метров, иные ситуации в результате совершения террористического акта)

3. Оценка социально-экономических последствий совершения террористического акта на объекте (территории)

N п/п	Возможные людские потери, человек	Возможные нарушения инфраструктуры	Возможный экономический ущерб, рублей
1	50-100	Остановка сварочного цеха, срыв судостроения	50-100 млн руб.

V. Силы и средства, привлекаемые для обеспечения антитеррористической защищенности объекта (территории)

1. Силы, привлекаемые для обеспечения антитеррористической защищенности объекта (территории)

Штатная охрана (120 человек), договор с ЧОП, взаимодействие с местным ОВД

2. Средства, привлекаемые для обеспечения антитеррористической защищенности объекта (территории)

Система видеонаблюдения (192 камеры), охранная сигнализация, тревожная кнопка, ограждение по периметру, радиосвязь

VI. Меры по инженерно-технической, физической защите и пожарной безопасности объекта (территории)

1. Меры по инженерно-технической защите объекта (территории):

а) объектовые и локальные системы оповещения

Система оповещения – «Стрелец» (наличие сирен и световых оповещателей)
(наличие, марка, характеристика)

б) резервные источники электро-, тепло-, газо- и водоснабжения, систем связи

Резервные источники питания – дизель-генераторы (200 кВт).
(наличие, количество, характеристика)

в) технические системы обнаружения несанкционированного проникновения на объект (территорию), оповещения о несанкционированном проникновении на объект (территорию) или системы физической защиты

Инфракрасные датчики движения, магнитоконтактные датчики на воротах
(наличие, марка, количество)

г) стационарные и ручные металлоискатели

Ручные приборы для досмотра на КПП
(наличие, марка, количество)

д) телевизионные системы охраны

192 цифровые камеры, монитор в посту охраны
(наличие, марка, количество)

е) системы охранного освещения

Прожекторы по периметру, включающиеся автоматически при срабатывании датчиков
(наличие, марка, количество)

2. Меры по физической защите объекта (территории):

а) количество контрольно-пропускных пунктов (для прохода людей и проезда транспортных средств)

1 для персонала, 3 для автотранспорта

б) количество эвакуационных выходов (для выхода людей и выезда транспортных средств)

3 шт. (два для прохода людей, один для выезда техники)

в) электронная система пропуска

Проксимити-карты
(наличие, тип установленного оборудования)

г) укомплектованность личным составом нештатных аварийно-спасательных формирований (по видам подразделений)

Пожарно-техническая группа (4 человека), аварийно-ремонтная бригада (3 человека).

(человек, процентов)

3. Меры по обеспечению пожарной безопасности объекта (территории):

а) наружное противопожарное водоснабжение

24 пожарных гидранта по периметру

(наличие, тип, характеристика)

б) внутреннее противопожарное водоснабжение

Внутренние пожарные краны в зданиях, совмещенные с хозяйственно-питьевым водопроводом

(наличие, тип, характеристика)

в) автоматическая установка пожарной сигнализации

Автоматическая установка пожарной сигнализации – «Гранит»

(наличие, тип, характеристика)

г) автоматическая установка пожаротушения

Спринклерная система в административном здании, дренчерная в помещении насосной

(наличие, тип, характеристика)

д) система противодымной защиты

Дымоудаление в подвале и на насосной станции

(наличие, тип, характеристика)

е) система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре

2 типа (звуковое и речевое оповещение)

ж) противопожарное состояние путей эвакуации и эвакуационных выходов

Соответствие СП 1.13130.2020, наличие световых указателей и свободных проходов

(количество, параметры)

4. План взаимодействия с территориальными органами безопасности, территориальными органами МВД России и территориальными органами Росгвардии по защите объекта (территории) от террористических угроз

Имеется согласованный документ с подразделениями ФСБ, МВД и Росгвардии по защите объекта

(наличие, реквизиты документа)

VII. Выводы и рекомендации

Предлагается усилить контроль за пропускным режимом (установка стационарного металлодетектора на центральном КПП).

Рекомендуется регулярно проводить учения по эвакуации персонала и противодействию диверсиям.

Обеспечить дублирующие блоки фильтрации в системе восстановительной вентиляции для предотвращения массового выброса аэрозолей при нештатных ситуациях.

VIII. Дополнительная информация с учетом особенностей объекта (территории)

Режимно-секретного органа на объекте нет.
Локальные зоны безопасности: сварочный цех, склад газов.
Уставный капитал 17 928 363 000 руб., ОКФС 16 (частная собственность), ОГРН 1082902001401

(наличие на объекте (территории) режимно-секретного органа, его численность (штатная и фактическая), количество сотрудников объекта (территории), допущенных к работе со сведениями, составляющими государственную тайну, меры по обеспечению режима секретности и сохранности секретных сведений)

(наличие на объекте (территории) локальных зон безопасности)

(другие сведения)

4.3 Оценка эффективности мероприятий по обеспечению техносферной безопасности

План мероприятий по улучшению условий и охраны труда представлен в таблице 1.

Таблица 1 – План мероприятий по улучшению условий труда и промышленной безопасности

Наименование структурного подразделения, рабочего места	Наименование мероприятия	Цель мероприятия	Срок выполнения	Источник финансирования
1	2	3	4	5
Цех № 1 АО «ПО Севмаш»	Модернизация системы восстановительной вентиляции (замена/дооборудование) в сварочном цехе	Сокращение концентрации сварочных аэрозолей и газов, улучшение микроклимата, снижение риска профзаболеваний	2 квартал 2025 года	Бюджет АО «ПО Севмаш»

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
	Приобретение СИЗ (усовершенствованные маски, респираторы, огнеупорная спецодежда)	Снижение рисков ожогов и отравлений, повышение уровня безопасности персонала	3 квартал 2025 года	
	Организация тренингов и оказанию первой помощи (регулярно)	Повышение готовности к ЧС, сокращение времени реакции при ожогах, травмах, взрывоопасных ситуациях	3 квартал 2025 года	
	Установка дополнительных фильтрующих блоков и рекуперации в вентиляции	Сокращение вредных выбросов, повторное использование теплого воздуха, экономия электроэнергии	4 квартал 2025 года	

Смета затрат на финансирование представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Смета затрат

Наименование статьи затрат	Единицы измерения	Кол-во	Цена за ед., руб.	Стоимость, руб.
Модернизация системы восстановительной вентиляции (замена/дооборудование) в сварочном цехе	ед.	5	500 000	2 500 000
Приобретение СИЗ (усовершенствованные маски, респираторы, огнеупорная спецодежда	ед.	40	10 000	400 000
Установка дополнительных фильтрующих блоков и рекуперации в вентиляции	ед.	5	120 000	600 000
Итого, руб				3 500 000

Исходные данные для расчета годовой экономии представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Исходные данные для расчета

Наименование статьи затрат	Условные обозначения	Единицы измерения	Данные	
			1 (до реализации мероприятий)	2 (после реализации мероприятий)
Число единиц производственного оборудования, не соответствующего требованиям безопасности [42]	$М_i$	шт.	5	0
Общее количество единиц производственного оборудования [42]	М	шт.	20	20
Численность занятых, работающих в условиях, которые не отвечают нормативно-гигиеническим требованиям [42]	$Ч_i$	чел.	8	0
Годовая среднесписочная численность работников [42]	ССЧ	чел.	100	1000
Число пострадавших от несчастных случаев на производстве [42]	$Ч_{нс}$	чел.	20	0
Количество дней нетрудоспособности в связи с несчастными случаями [42]	$Д_{нс}$	дн.	50	0
Плановый фонд рабочего времени в днях [42]	$Ф_{план}$	дни	250	250
Ставка рабочего [42]	$Т_{час}$	руб/час	300	300
Коэффициент доплат [42]	$k_{допл}$	%	4	0
Продолжительность рабочей смены [42]	Т	час	8	8
Количество рабочих смен в сутки [42]	*S*	шт.	1	1
Коэффициент материальных затрат в связи с несчастным случаем [42]	μ		2	2
Страховой тариф по обязательному социальному страхованию от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний [42]	$t_{страх}$	%	1	1
Единовременные затраты [42]	$З_{ед}$	руб.	3 500 000	

Коэффициент частоты травматизма до и после проведения мероприятий по обеспечению производственной безопасности:

$$К_ч = \frac{Ч_{нс} \cdot 1000}{ССЧ}, \quad (4.1)$$

где Чнс – число пострадавших от несчастных случаев на производстве до и после проведения мероприятий по обеспечению производственной безопасности, чел.;

ССЧ – годовая среднесписочная численность работников до и после проведения мероприятий по обеспечению производственной безопасности, чел.

$$К_{ч1} = \frac{20 \cdot 1000}{1000} = 20$$

$$К_{ч2} = \frac{0 \cdot 1000}{1000} = 0$$

Коэффициент тяжести травматизма до и после проведения мероприятий по обеспечению производственной безопасности:

$$К_т = \frac{Д_{нс}}{Ч_{нс}}, \quad (4.2)$$

где Днс – количество дней нетрудоспособности в связи с несчастным случаем до и после проведения мероприятий по обеспечению производственной безопасности, дн.

$$К_{т1} = \frac{50}{20} = 2{,}5$$

$$К_{т2} = \frac{0}{0} = 0$$

Изменение коэффициента частоты травматизма (ΔКч):

$$\Delta К_ч = 100 - \frac{К_{ч2}}{К_{ч1}} \cdot 100, \quad (4.3)$$

где Кч1, Кч2 – коэффициент частоты травматизма до и после проведения мероприятий по обеспечению производственной безопасности.

$$К_ч = 100 - \frac{0}{20} \cdot 100 = 100$$

Изменение коэффициента тяжести травматизма (ΔКт):

$$\Delta К_т = 100 - \frac{К_{т2}}{К_{т1}} \cdot 100, \quad (4.4)$$

где Кт1, Кт2 – коэффициент тяжести травматизма до и после проведения мероприятий по обеспечению производственной безопасности.

$$\Delta К_т = 100 - \frac{0}{2,5} \cdot 100 = 100$$

Увеличение количества производственного оборудования (ΔМ), соответствующего требованиям безопасности:

$$\Delta М = \frac{М_1 - М_2}{М} \cdot 100\ \%, \quad (4.5)$$

где М1, М2 – число единиц производственного оборудования, не соответствующего требованиям безопасности, до и после проведения мероприятий по обеспечению производственной безопасности, шт.; М – общее количество единиц производственного оборудования, шт.

$$\Delta М = \frac{5\ -\ 0}{20} \cdot 100\ \% = 25\%$$

Уменьшение численности занятых (ΔЧ), работающих в условиях, которые не отвечают нормативно-гигиеническим требованиям:

$$\Delta Ч = \frac{Ч_1 - Ч_2}{ССЧ1} \cdot 100\ \%, \quad (4.6)$$

где $Ч_1$, $Ч_2$ – численность занятых, работающих в условиях, которые не отвечают нормативно-гигиеническим требованиям, до и после проведения мероприятий по обеспечению производственной безопасности, чел.; $ССЧ_1$ – годовая среднесписочная численность работников до проведения мероприятий по обеспечению производственной безопасности, чел.

$$\Delta Ч = \frac{8\ -\ 0}{100} \cdot 100\ \% = 8\%$$

Потери рабочего времени в связи с временной утратой трудоспособности на 100 рабочих за год до и после проведения мероприятий по обеспечению производственной безопасности:

$$ВУТ = \frac{100 \cdot Д_{нс}}{ССЧ}. \quad (4.7)$$

где Днс – количество дней нетрудоспособности в связи с несчастным случаем на производстве до и после проведения мероприятий по обеспечению

производственной безопасности, дн.; ССЧ – среднесписочная численность основных рабочих за год до и после проведения мероприятий по обеспечению производственной безопасности, чел.

$$ВУТ1 = \frac{100 \cdot 50}{100} = 50 \text{ дней},$$

$$ВУТ2 = \frac{100 \cdot 0}{100} = 0 \text{ дней}.$$

Фактический годовой фонд рабочего времени 1 основного рабочего до и после проведения мероприятий по обеспечению производственной безопасности:

$$Ф_{факт} = Ф_{план} - ВУТ, \quad (4.8)$$

где Фплан – плановый фонд рабочего времени 1 основного рабочего до и после проведения мероприятий по обеспечению производственной безопасности, дн.

$$Ф_{факт1} = 250 - 50 = 200 \text{ дней},$$

$$Ф_{факт2} = 250 - 0 = 250 \text{ дней}.$$

Прирост фактического фонда рабочего времени 1 основного рабочего после проведения мероприятия по охране труда:

$$\Delta Ф_{факт} = Ф_{факт2} - Ф_{факт1}, \quad (4.9)$$

где Ффакт1, Ффакт2 – фактический фонд рабочего времени 1 основного рабочего до и после проведения мероприятий по обеспечению производственной безопасности, дни.

$$\Delta Ф_{факт} = 250 - 200 = 50 \text{ дней}.$$

Относительное высвобождение численности рабочих за счет снижения количества дней невыхода на работу:

$$Э_{ч} = \frac{ВУТ_1 - ВУТ_2}{Ф_{факт1}} \cdot Ч_{нс\,1}, \quad (4.10)$$

где ВУТ1, ВУТ2 – потери рабочего времени в связи с временной утратой трудоспособности на 100 рабочих за год до и после проведения мероприятий

по обеспечению производственной безопасности; Ффакт1 – фактический фонд рабочего времени 1 рабочего до проведения мероприятий по обеспечению производственной безопасности, дн.; Чнс1 – число пострадавших от несчастных случаев на производстве до проведения мероприятий по обеспечению производственной безопасности, чел.

$$Э_{ч} = \frac{50 - 0}{200} \cdot 20 = 5.$$

Материальные затраты в связи с несчастными случаями на производстве:

$$Р_{мз} = ВУТ \cdot ЗПЛ_{дн} \cdot \mu, \quad (4.11)$$

где ВУТ – потери рабочего времени в связи с временной утратой трудоспособности на 100 рабочих за год до и после проведения мероприятия; μ – коэффициент, учитывающий все элементы материальных затрат по отношению к заработной плате.

$$Р_{мз1} = 50 \cdot 2496 \cdot 2 = 249600 \text{ руб.},$$

$$Р_{мз2} = 0 \cdot 2496 \cdot 2 = 0 \text{ руб.}$$

Годовая экономия материальных затрат:

$$Э_{мз} = Р_{мз1} - Р_{мз2}, \quad (4.12)$$

где $Р_{мз1}$, $Р_{мз2}$ – материальные затраты в связи с несчастными случаями до и после проведения мероприятий, руб.

$$Э_{мз} = 249600 - 0 = 249600 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата одного работника

$$ЗПЛ_{дн1} = Т_{час} \cdot Т \cdot S \cdot (100\ \% + k_{допл}) = 300 \cdot 8 \cdot 1 \cdot \cdot (1 + 0{,}04) = 2496 \text{ руб.}$$

$$ЗПЛ_{дн2} = 300 \cdot 8 \cdot 1 \cdot (1 + 0) = 2400 \text{ руб.} \quad (4.13)$$

Среднегодовая заработная плата:

$$ЗПЛ_{год} = ЗПЛ_{дн} \cdot Ф_{план} \quad (4.14)$$

где $ЗПЛ_{год}$ – среднегодовая заработная плата работника, руб.; $ЗПЛ_{дн}$ – среднедневная заработная плата одного работающего (рабочего), руб.; $Ф_{план}$ – плановый фонд рабочего времени 1 основного рабочего, дн.

$$ЗПЛ_{год\,1} = 2496 \cdot 250 = 624000 \text{ руб.}$$
$$ЗПЛ_{год\,2} = 2400 \cdot 250 = 600000 \text{ руб.}$$

Годовая экономия за счет уменьшения затрат на выплату льгот и компенсаций за работу в неблагоприятных условиях труда:

$$Э_{усл.тр} = (Ч_1 - Ч_2) \cdot (ЗПЛ_{год1} - ЗПЛ_{год2}), \quad (4.15)$$

где $Ч_1$, $Ч_2$ – численность занятых, работающих в условиях, которые не отвечают нормативно-гигиеническим требованиям, до и после проведения мероприятий, чел.

$$Э_{усл.тр} = (8 - 0)(624000 - 600000) = 192000 \text{руб.}$$

Годовая экономия по отчислениям на социальное страхование ($Э_{страх}$) образуется за счет уменьшения затрат на выплату льгот и компенсаций за работу в неблагоприятных условиях труда. Определяется она произведением годовой экономии затрат на выплату льгот и компенсаций за работу в неблагоприятных условиях труда и тарифом взносов на обязательное социальное страхования от несчастных случаев на производстве.

$$Э_{страх} = Э_{усл.тр} \cdot t_{страх}, \quad (4.16)$$

где $t_{страх}$ – страховой тариф по обязательному социальному страхованию от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, %.

$$Э_{страх} = 192000 \cdot 1 = 192000 \text{ руб.}$$

Общий годовой экономический эффект ($Э_г$) от мероприятий по улучшению условий труда представляет собой экономию приведенных затрат от внедрения данных мероприятий:

$$Э_г = Э_{м.з} + Э_{усл.тр} + Э_{страх}. \quad (4.17)$$

$$Э_г = Э_{мЗ} + Э_{усл.тр} + Э_{страх} = 249600 + 192000 + 192000 = 633600 \text{ руб.}$$

Не менее важное значение при определении величины экономического эффекта от проводимых мероприятий по охране труда имеют следующие показатели: 1) срок окупаемости произведенных затрат на мероприятия; 2) коэффициент экономической эффективности.

Срок окупаемости затрат на проводимые мероприятия определяется соотношением суммы произведенных затрат к общему годовому экономическому эффекту. Коэффициент экономической эффективности – это величина, обратная сроку окупаемости.

Срок окупаемости затрат на проведение мероприятий:

$$Т_{ед} = \frac{З_{ед}}{Э_г}, \quad (4.18)$$

где $Т_{ед}$ – срок окупаемости единовременных затрат, год;

$З_{ед}$ – единовременные затраты на проведение мероприятий по улучшению условия труда, руб.

$$Т_{ед} = \frac{3500000}{633000} = 5{,}5 \text{ лет}$$

Коэффициент экономической эффективности затрат:

$$Е_{ед} = \frac{1}{Т_{ед}} = \frac{1}{5{,}5} = 0{,}18 \quad (4.19)$$

Полученные данные проведенного исследования свидетельствуют, что комплексная модернизация вентиляционных систем, ориентированная на восстановительную схему воздухообмена, не только обеспечивает соответствие требованиям охраны труда и экологической безопасности в сварочном цехе, но и повышает общую эффективность судостроительного производства.

Заключение

В ходе выполненного исследования достигнуты конкретные количественные результаты, наглядно подтверждающие эффективность комплексного улучшения системы вентиляции и организации рабочих мест в сварочном цехе судостроительного предприятия.

За счет оптимизации приточно-вытяжной и аспирационной системы удалось увеличить суммарный воздухообмен на сварочном участке в теплый период с 19000 м³/ч (при минимальных нормативах) до 63000 м³/ч, что обеспечило более чем трехкратное усиление вытяжного потенциала. В зимний сезон, когда расход свежего воздуха обычно ограничен теплопотерями, итоговая подача вентиляции сохраняется на уровне около 20 000 м³/ч, однако локальные отсосы от сварочных постов продолжают удалять большую часть вредных выделений непосредственно из зоны их образования.

Согласно расчетам концентраций аэрозолей металлов и оксидов азота в рабочей зоне, после модернизации вентиляционного комплекса среднее содержание сварочного аэрозоля (по оксидам железа) снизилось с 2,4-2,5 мг/м³ до 1,0-1,2 мг/м³, а предельные пиковые значения уменьшились более чем вдвое при условии правильно настроенной восстановительной вентиляции и локальных отсосов.

Аналогично, для оксидов азота (NO_x), которые особенно интенсивно формируются при ручной дуговой сварке, удалось достигнуть снижения с 3,0-3,5 мг/м³ до 1,8-2,0 мг/м³. Подобные показатели соответствуют или даже превосходят действующие санитарные нормы, что обеспечивает не только соблюдение требований охраны труда, но и меньший риск профзаболеваний.

При расчете экономического эффекта учтены затраты на закупку и монтаж вентиляционного оборудования, калориферных установок и фильтрующих систем, суммарно оцененные приблизительно в 3,5 млн руб. Окупаемость затрат составит 5,5 года, таким образом, предприятие сможет

предотвратить либо минимизировать появление случаев профессиональных заболеваний.

Проведенный анализ аварийности подтверждает, что сочетание локальных отсосов, автоматизации управления воздухообменом и регулярных инструктажей позволило уменьшить количество тяжелых инцидентов (таких как ожоги и травмы от сварочных брызг) приблизительно с 5-6 случаев в год до единичных эпизодов или полного их отсутствия в ряде периодов. В частности, ранее фиксировались жалобы на загрязнение воздуха соединениями марганца и хрома до уровней в 0,2-0,3 мг/м³, теперь же при постоянном мониторинге и корректировке скорости локальных отсосов концентрации могут удерживаться на уровне не выше 0,1-0,15 мг/м³ в типичных рабочих сменах.

Полученные данные проведенного исследования свидетельствуют, что комплексная модернизация вентиляционных систем, ориентированная на восстановительную схему воздухообмена, не только обеспечивает соответствие требованиям охраны труда и экологической безопасности в сварочном цехе, но и повышает общую эффективность судостроительного производства.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Александров К.И., Павлова М.Н. Влияние вентиляционных систем на концентрацию вредных веществ в воздухе сварочных цехов // Промышленная вентиляция. – 2018. – № 2. – С. 35-41.
2. Богданов И.Н., Сидоров А.В. Влияние сварочных аэрозолей на здоровье работников судостроительных предприятий // Вестник безопасности труда. – 2019. – № 3. – С. 45-49.
3. Боград В.М., Коваль В.И., Скороходов В.А. Охрана труда в судостроении. – СПб.: Судостроение, 2009. – 288 с.
4. Бойцов С.С. Теория и практика промышленной безопасности. – СПб.: Питер, 2022. – 256 с.
5. Васильев Ю.Т. Введение в основы сварки: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 180 с.
6. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Введ. 01.03.2016. – М.: Стандартинформ, 2016. – 24 с.
7. ГОСТ 12.1.004-2015. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. – Введ. 01.01.2017. – М.: Стандартинформ, 2017. – 28 с.
8. ГОСТ Р 58215-2018. Нефтяная и газовая промышленность. Арктические операции. Рабочая среда. Общие требования. – Введ. 01.01.2019. – М.: Стандартинформ, 2018. – 20 с.
9. ГОСТ Р 59059-2020. Охрана окружающей среды. Контроль загрязнений атмосферного воздуха. Термины и определения. – Введ. 01.01.2021. – М.: Стандартинформ, 2020. – 24 с.
10. Григорьев С.Н., Лебедев П.В. Анализ воздействия сварочных процессов на качество атмосферного воздуха // Экологическая безопасность. – 2016. – № 1. – С. 55-60.

11. Ершов И.И. Методы управления профессиональными рисками. – СПб.: Питер, 2022. – 208 с.

12. Зайцев Ю.П., Крылов М.С. Экологический мониторинг воздушной среды на судостроительных предприятиях // Экология и промышленность России. – 2020. – № 7. – С. 37-42.

13. Зеленин А.Б. Безопасность жизнедеятельности: учебник. – М.: Юрайт, 2023. – 312 с.

14. Картамышева Е.С., Иванченко Д.С. Основные источники загрязнения окружающей среды в судостроительной промышленности // Молодой ученый. – 2018. – № 25 (211). – С. 18-20.

15. Кирсанов М.Н. Оценка риска на предприятиях ЖКХ. – М.: Инфра-М, 2021. – 152 с.

16. Кузьмин Д.А., Беляева О.Л. Современные методы контроля загрязнения воздуха в сварочных цехах // Методы и приборы контроля качества. – 2019. – № 4. – С. 48-53.

17. Медведев А.И., Соколова Н.В. Применение современных фильтрационных материалов для очистки воздуха в сварочных производствах // Инженерные системы. – 2019. – № 6. – С. 29-34.

18. Методика расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу при сварочных работах (на основе удельных показателей). – СПб., 1997. – 48 с.

19. Методические рекомендации по идентификации опасностей и оценке профессиональных рисков / Минтруд РФ. – М., 2022. – 48 с.

20. Методические указания по проведению специальной оценки условий труда (СОУТ) / Минтруд РФ. – М., 2020. – 64 с.

21. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух. – М., 2004. – 100 с.

22. Николаев Р.В., Фролова Е.А. Влияние технологических параметров сварки на образование вредных выбросов // Сварочное производство. – 2018. – № 9. – С. 15-20.

23. О промышленной безопасности опасных производственных объектов [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 21.07.1997 № 116 (ред. от 08.08.2024) URL: https://rulaws.ru/laws/Federalnyy-zakon-ot-21.07.1997-N-116-FZ/ (дата обращения: 01.03.2025).

24. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 30.03.1999 № 52 (ред. от 26.12.2024) URL: https://rulaws.ru/laws/Federalnyy-zakon-ot-30.03.1999-N-52-FZ/ (дата обращения: 01.03.2025).

25. Об охране атмосферного воздуха [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 04.05.1999 № 96 (ред. от 08.08.2024). URL: https://rulaws.ru/laws/Federalnyy-zakon-ot-04.05.1999-N-96-FZ/ (дата обращения: 01.03.2025).

26. Об охране окружающей среды [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 10.01.2002 № 7 (ред. от 08.08.2024) URL: https://rulaws.ru/laws/Federalnyy-zakon-ot-10.01.2002-N-7-FZ/ (дата обращения: 01.03.2025).

27. Об утверждении норм пожарной безопасности Приказ МЧС России от 27.07.2020 № 559 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

28. Об утверждении Примерного положения о системе управления охраной труда Приказ Минтруда России от 29.10.2021 № 776н // Консультант плюс: справочно-правовая система.

29. Об утверждении Рекомендаций по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков и по снижению уровней таких рисков Приказ Минтруда России от 28.12.2021 № 926 // Консультант плюс: справочно-правовая система.

30. Овчинников В.В. Дефектация сварных швов и контроль качества сварных соединений: учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. – М.: Академия, 2017. – 224 с.

31. Петрова Л.М., Иванов К.С. Методы снижения выбросов при сварочных работах в судостроении // Экология производства. – 2020. – № 5. – С. 22-27.

32. СанПиН 2.1.6.1032–01 «Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест». – Введ. 01.09.2001. – М.: ГУП ЦНИИГАиК, 2001. – 32 с.

33. СанПиН 2.1.6.983–00 «Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест». – Введ. 30.03.2000. – М.: Минздрав России, 2000. – 28 с.

34. Сборник наилучших доступных технологий по водоочистке / Министерство природных ресурсов РФ. – М., 2021. – 112 с.

35. Семенов П.Г., Морозова И.В. Применение роботизированных систем для снижения загрязнения воздуха при сварке // Автоматизация в промышленности. – 2020. – № 3. – С. 25-30.

36. Смирнов А.А., Кузнецов В.П. Оценка эффективности систем вентиляции в сварочных цехах // Промышленная экология. – 2017. – № 4. – С. 33-38.

37. СНиП 12–03–99 «Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования». – Введ. 01.01.2000. – М.: Госстрой России, 1999. – 56 с.

38. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений Федеральный закон от 30.12.2009 № 384 (ред. от 25.12.2023) URL: https://rulaws.ru/laws/Federalnyy-zakon-ot-30.12.2009-N-384-FZ/ (дата обращения: 01.03.2025).

39. Тимофеев В.Н., Орлова Т.С. Оценка риска для здоровья работников при воздействии сварочных аэрозолей // Гигиена и санитария. – 2017. – № 5. – С. 61-66.

40. Трудовой кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс] URL: https://rulaws.ru/tk/ (дата обращения: 01.03.2025)..

41. Федоров В.Г., Михайлов Д.Ю. Современные технологии очистки воздуха от сварочных аэрозолей // Технологии защиты окружающей среды. – 2018. – № 2. – С. 40-46.

42. Фрезе Т. Ю. Оценка эффективности мероприятий по обеспечению техносферной безопасности [Электронный ресурс] : Методические указания по выполнению раздела. URL: https://e.lanbook.com/book/159637 (дата обращения: 01.03.2025)..

Приложение

Аэродинамический расчет вытяжной аспирационной системы на заточном участке

№	L м3/ч	l,м	Воздуховоды			λ/d	ζэ	∑ζ	Рдин	(ζэ+∑ζ)*Рд	∑Руч	Примечание
			d, мм	F, м2	V м\с							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Магистраль В1												
1	630	2,71	100	0,008	22,3	0,173	0,47	4,05	298	1347	1347	3 отв., тройник прох., мо-защитн.кожух
2	1080	1,9	125	0,012	24,5	0,133	0,25	0,28	359	191	1539	тройник пр.
3	1530	1,8	160	0,020	21,1	0,1	0,18	0,25	268	115	1654	тройник пр.
4	1830	1,4	180	0,025	20,0	0,09	0,13	0,3	240	102	1756	тройник пр.
5	3210	15,4	225	0,040	22,4	0,067	1,03	0,5	302	463	2219	2 отв.
ЦН-24										911	3130	циклон
Ответвления												
11	450	1,1	80	0,005	24,9	0,225	0,25	3,55	371	1410	1410	отв.90, тройник отв., мо
Невязка: $\Delta P_1-\Delta P_{11}/\Delta P_1\cdot 100$ Невязка: 1347-1410/1347·100=4,6%<5%												
12	450	1,3	80	0,005	24,9	0,225	0,29	3,5	371	1409	1409	отв.90, тройник отв.,мо
Невязка: $\Delta P_2-\Delta P_{12}/\Delta P_2\cdot 100$ Невязка: 1539-1409/1539·100=8%>5% $d_2=80\cdot\sqrt{0,7}$=67мм; l=(80-67) ·2·0,577=15мм												
13	300	1,1	80	0,005	16,6	0,231	0,25	3,5	165	620	620	отв.90, тройник отв., мо

№	L м3/ч	l,м	Воздуховоды			λ/d	ζэ	∑ζ	Рдин	(ζэ+∑ζ)*Рд	∑Руч	Примечание
			d, мм	F, м2	V м\с							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Невязка: $\Delta P_3-\Delta P_{13}/\Delta P_3 \cdot 100$ Невязка: 1654-620/1654·100=62%>5% $d_2=80\cdot\sqrt{0,4}$=51мм; l=(80-51) ·2·0,577=34мм												
Ветка А												
6	450	2,5	80	0,005	24,9	0,225	0,56	3,64	371	1561	1561	2 отв., тройник прох., мо-защитн.кожух
7	1080	2,4	125	0,012	24,5	0,133	0,32	0,53	359	305	1866	отв,90., тройник прох.
8	1380	2,4	140	0,015	24,9	0,117	0,28	0,35	372	235	2101	тройник отв.
Невязка: $\Delta P_4-\Delta P_8/\Delta P_4 \cdot 100$ Невязка: 1756-2101/1756·100=20%>5% $d_2=140\cdot\sqrt{0,55}$=104мм; l=(140-104) ·2·0,577=42мм												
Ответвления												
9	630	1,1	100	0,008	22,3	0,173	0,19	3,39	298	1068	1068	отв.90, тройник отв.., мо
Невязка: $\Delta P_6-\Delta P_9/\Delta P_6 \cdot 100$ Невязка: 1561-1068/1651·100=29%>5% $d_2=100\cdot\sqrt{0,55}$=71мм; l=(100-71) ·2·0,577=33мм												
10	300	1,1	80	0,005	16,6	0,231	0,25	3,5	165	620	620	отв.90, тройник отв., мо
Невязка: $\Delta P_7-\Delta P_{10}/\Delta P_7 \cdot 100$ Невязка: 1866-620/1866·100=%>5% $d_2=80\cdot\sqrt{0,4}$=51мм; l=(80-51) ·2·0,577=34мм												