

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Институт «Архитектурно-строительный»
Кафедра «Градостроительство, инженерные сети и системы»

ПРОЕКТ ПРОВЕРЕН

Рецензент

Директор ООО «ОИР»

_____ Щапин В.А.

_____ 2021 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой,

к.т.н., доцент

_____ Д.В. Ульрих

_____ 2021 г.

Анализ методик расчёта систем воздухораспределения современных
зданий

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ – 08.04.01.2021.053.05. ПЗ ВКР

Руководитель проекта:

доцент

_____ Нагорная А.Н.

_____ 2021 г.

Автор проекта:

студент группы АС-228

_____ Рысин А.А.

_____ 2021 г.

Нормоконтролер:

доцент

_____ Нагорная А.Н.

_____ 2021 г.

АННОТАЦИЯ

Рысин А.А. Анализ методик расчёта систем воздухораспределения современных зданий – Челябинск: ЮУрГУ, АС-228; кафедра ГИСиС 2021, 80 с., 37 ил., библиогр. список – 22 наим., 2 прил.

В дипломном проекте выполнен анализ методик расчёта систем воздухораспределения современных зданий и выполнена проверка существующей системы вентиляции в здании многофункциональный спортивно-оздоровительный кластер «теннисный центр».

Был выполнен расчёт приточной струи по двум методикам и определены параметры приточной струи такие как: расчётная длина струи, значение скорости и избыточной температуры на входе струи в рабочую зону.

Произведено компьютерное моделирование воздушных потоков с помощью программы Flow Simulation и выполнен анализ результатов, полученных с помощью методик расчёта воздухораспределения и результатов 3-D модели.

Построена 3-D модель и выполнено моделирование воздушных потоков в здании теннисных кортов, с существующей системой вентиляции и выполнен анализ полученных данных.

					08.04.01.2021.053.05. ПЗ.ВКР			
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата				
Зав. каф.		Ульрих Д.В.			Анализ методик расчёта систем воздухораспределения современных зданий	Стадия	Лист	Листов
Н.Контр.		Нагорная А.Н.				ДП	3	80
Руковод.		Нагорная А.Н.				ЮУрГУ Кафедра ГИСиС		
Консульт.		Нагорная А.Н.						
Студент		Рысин А.А.						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРЫ	7
1.1. Решение задач распределения воздуха в спортивном зале борьбы	7
1.2 Применение средств CFD-моделирования для расчета воздухораспределения различных помещений	8
1.3. Расчёт систем воздухораспределения и воздухоудаления.....	10
1.4. К вопросу о математическом моделировании распределения воздуха в системах вентиляции зданий.....	12
2 РАСЧЁТ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО МЕТОДИКЕ СП 60.13330.2016.	14
2.1 Подача воздуха настилающимися на потолок струями	15
3 РАСЧЁТ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО МЕТОДИКЕ ИЗ СПРАВОЧНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	19
3.1 Общие положения	19
3.2 Приточные струи	20
3.3 Расчёт воздухораспределения на основе рассмотренной методики	33
4 ПРОВЕРКА РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЁТА ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	36
4.1 Принцип работы методов моделирования.....	36
4.2 Результаты моделирования рассмотренного объекта.....	38
4.3 Сравнение результатов воздухораспределения.....	42
5 АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕННИСНОГО КОРТА	53
5.1 Расчёт приточной струи по методике из справочной литературы.....	53
5.2 Основные принципы работы программы Flow Simulation.	55

									Лист
									4
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР				

5.3 Анализ системы воздухораспределения здания теннисный корт с помощью программы Flow Simulation.....	65
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	72
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	73
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	75
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	80

ВВЕДЕНИЕ

При строительстве современных зданий актуальной задачей является поддержание оптимальных параметров микроклимата не только по всему помещению, но и особенно в зоне пребывания людей.

Для создания и поддержания параметров воздушных потоков внутри помещения и в зонах пребывания людей, необходимо не только спроектировать системы вентиляции, но и организовать правильным образом подачу воздуха, а именно выбрать схему воздухораспределения, при которой будут сохраняться нормативные параметры температуры и скорости приточного воздуха в рабочей зоне помещения.

Для получения достоверных данных приточных струй в рассматриваемом помещении, необходимо выполнить ряд нескольких задач:

- 1) сделать расчёт воздухораспределения по нормативной методике
- 2) выполнить расчёт воздухораспределения по классической методике
- 3) произвести моделирование с помощью компьютерной программы Flow Simulation
- 4) Проанализировать полученные данные из рассматриваемых методик и выбрать результаты, которые больше соответствуют заданным требованиям.

					08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		6

1 АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Решение задач распределения воздуха в спортивном зале борьбы

Тема исследования: Решение задач распределения воздуха в спортивном зале борьбы

Актуальность темы исследования: воздухораспределение, являясь последним видом обработки воздуха в системах вентиляции и кондиционирования, практически полностью определяет функционал будущих систем, влияя на эффективность проектных решений.

Цель работы: Определение наилучшего варианта воздухораспределения, для создания оптимальных параметров внутреннего воздуха внутри зала.

Поставленные задачи для достижения цели: анализ параметров микроклимата в спортивном зале для двух схем воздухораспределения с использованием методов математического моделирования.

Объект исследования: параметры микроклимата в спортивном зале.

Предмет исследования: анализ параметров микроклимата в спортивном зале с помощью использования методов математического моделирования для двух схем воздухораспределения.

Теоретико-методологическая основа: в настоящем исследовании использовался гидродинамический пакет STAR-CCM+, использование для моделирования турбулентных течений подхода RANS, позволяющего при умеренных вычислительных затратах (~80 ч счета, 9 млн ячеек) получать решения, точность которых достаточна для любых задач техники вентиляции

Научная новизна: на основе математического моделирования разработаны модели с различными параметрами внутреннего воздуха, описывающие закономерности формирования воздушно-теплового режима при различных схемах воздухораспределения

Недостатки: значительных недостатков и неточностей данной методики не выявлено.

Практическая значимость полученных результатов: Результаты, полученные при моделировании процессов распределения воздуха можно использовать для

					08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		7

выбора системы, которая позволит обеспечить наилучшие параметры внутреннего воздуха в помещении спортивного зала.

Результаты внедрения: на основе данных, полученных в данном исследовании, была применена самая эффективная система воздухообмена и воздухораспределения в спортивном зале борьбы с трибунами на 500 мест в проектируемом здании спортшколы.

Используемая литература:

1. Nielsen, P.V., Allard, F., Awbi, H. B., Davidson, L., and Schälin, A. // Computational fluid dynamics in ventilation design. REHVA Guide Book 10. REHVA. 2007.

2. Ladeinde, F., Nearon, M. CFD applications in the HVAC&R industry // ASHRAE Journal. 1997. 39 (1).

3. Zhang, Z., Zhai, J. Z., and Chen, Q. Evaluation of various CFD models in predicting room airflow and turbulence. Proceedings of Roomvent 2007, 10th International Conference on Air Distribution in Rooms, Helsinki, Finland.

4. Lee, K., Jiang, Z., Chen, Q. Air distribution effectiveness with stratified air distribution systems // ASHRAE Transactions. 2009. Vol. 115 Issue 2.

5. Позин Г. М. Принципы разработки приближенной математической модели тепловоздушных процессов в вентилируемых помещениях // Известия высших учебных заведений. № 11. Раздел: Строительство и архитектура. Новосибирск, 1980.

6. Кац Р. Д. Расчет параметров воздушной среды вентилируемых помещений // АВОК. 2005. № 4.

1.2 Применение средств CFD-моделирования для расчета воздухораспределения различных помещений

Тема исследования: моделирование распределения температурных и аэродинамических полей для холодильного центра высокой загрузки

Актуальность темы исследования: На сегодняшний день существует множество задач, требующих точного расчета распределения температурных и аэродинамических полей в различных помещениях.

					08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		8

Цель работы: разработка методики для расчёта распределения температурных и аэродинамических полей для помещений небольшого объёма, концентрирующих высокую тепловую нагрузку.

Поставленные задачи для достижения цели: выработка рекомендаций для расчета распределения температурных и аэродинамических полей для перечисленных выше типов помещений с помощью средств CFD-моделирования для дальнейшего применения при проектировании.

Объект исследования: распределения температурных и аэродинамических полей

Предмет исследования: параметры температурных и аэродинамических полей внутри помещения, в зависимости от выбора схемы воздухораспределения.

Теоретико-методологическая основа: для обработки результатов моделирования применялась методика расчета нестационарных параметров одиночного ребра численными методами.

Научная новизна: в работе представлены технические решения, которые позволили выбрать схему расположения приточных и вытяжных устройств, обеспечивающую наилучшую картину распределения температур и скоростей при расходе заданном расходе воздуха.

Недостатки: непосредственное применение CFD-моделирования при проектировании весьма трудоемкое и, как правило, затратное по времени.

Практическая значимость полученных результатов: выработаны рекомендации по воздухообмену, из которых можно предварительно вывести величину воздухообмена для хладоцентров: 1,5 крат при электрической мощности установленных агрегатов до 800 кВт. При электрической мощности 800–1000 кВт необходимо увеличить воздухообмен до двух крат. Данные действительны для хладоцентров с коэффициентом загрузки 0,4–0,6 кВт/м³.

Результаты внедрения: Объединив все подобные исследования, возможно выработать устойчивые рекомендации для инженерных расчетов помещений всех типов.

Используемая литература:

					08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		9

1. Арбатский А. А., Глазов В. С. Расчет систем вентиляции производственных и общественных зданий с применением средств CFD-моделирования : сб. научн. тр. VI Междунар. науч.- техн. симпоз. «Современные энерго- и ресурсосберегающие технологии СЭТТ – 2017» Междунар. науч.-техн. фор. «Первые международные Косыгинские чтения (11, 12 октября 2017 года). М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А. Н. Косыгина», 2017. Т. 1. С. 176–180.

2. Арбатский А. А., Глазов В. С. Оптимизация расчета воздухообмена в производственных цехах : сб. тр. XI Междунар. науч.-технич. симпоз. «Теоретические и экспериментальные основы создания энерго- и ресурсосберегающих процессов и оборудования» (ЭРПО-2014). М., 2014. Т. 2. С. 170–175.

3. Сергиевский Э. Д., Хомченко Н. В., Овчинников Е. В. Расчет локальных параметров течения и теплообмена в каналах : метод. пос. по курсу «Математическое моделирование процессов тепломассообмена». М.: Изд-во МЭИ, 2001.

1.3. Расчёт систем воздухораспределения и воздухоудаления

Авторы, год издания: Арбатский А.А., Глазов В.С., 11– 12 октября 2017 года.
ISBN!978-5-87055-533-1

Тема исследования: Расчёт систем вентиляции производственных и общественных зданий с применением средств CDF-моделирования.

Актуальность темы исследования: В настоящий момент, для расчета воздухообмена различных помещений, как производственных, так и общественных применяются инженерные методики основанные на расчете общих интегральных характеристик и требованиях санитарных норм. Данные методы расчета дают устойчивые результаты и позволяют предусмотреть необходимый запас

Цель работы: Расчёт воздухообмена и воздухораспределения в помещениях с учётом локализации тепловых выбросов и расчётов распределения воздушных потоков по помещению

Поставленные задачи для достижения цели: адаптация системы CFD-моделирования к расчету воздухообмена рассматриваемого помещения.

									Лист
									10
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР				

Объект исследования: Расчёт распределения воздушных потоков.

Предмет исследования: расчёт воздухообмена помещения с помощью применения системы CFD-моделирования.

Теоретико-методологическая основа: Для расчёта была построена модель рассматриваемого помещения в системе PHOENUCS. Далее задавался расход приточного и вытяжного воздуха L1, L2, L3. Также в первом приближении рассчитывалась температура поверхности оборудования, для построения модели для граничных условий 1-го рода, с целью оптимизировать расчетное время, а также увеличить точность расчета.

Научная новизна: В данной статье предложены технические решения по организации воздухообмена производственного помещения с локальными тепловыделениями, при которых будет соблюдаться требование перепада температур в рабочей зоне при оптимальной величине воздухообмена.

Недостатки: применение CDF моделирования является трудоёмким и затратным по времени.

Практическая значимость полученных результатов: Повторно опробована методика расчета расходов воздуха и эвристической оптимизации

воздухораспределения на примере конкретного производства. Получены дополнительные данные, для последующего анализа и получения устойчивой математической модели расчета воздухообменов, а так же постоянных рекомендаций по воздухораспределению в зависимости от характеристик оборудования.

Результаты внедрения: На основе полученных результатов по-рассмотренному помещению были сделаны следующие выводы: необходимый расход воздуха по классической методике 52 600 м³/ч, необходимый расход воздуха, определенный по методике с использованием CFDмоделирования: 26 300 м³/ч, обозначена оптимальная расстановка приточных и вытяжных устройств.

Используемая литература:

1. Арбатский А.А., Глазов В.С. Оптимизация расчета воздухообмена в производственных цехах // Сборник трудов Т.2., 2014г., УДК 62-9, Секция 1

					08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		11

с.170-175

2. . Сергиевский Э.Д., Хомченко Н.В., Овчинников Е.В. Расчет локальных параметров течения и теплообмена в каналах: изд. МЭИ, 2001 г. 60 с

3. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Часть 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Книга 2./ Под ред. Павлова Н.Н., Шиллера Ю.Н. Москва: изд. Строиздат, 1992 г. 416 с.

1.4. К вопросу о математическом моделировании распределения воздуха в системах вентиляции зданий.

Тема исследования: расчёт систем воздухораспределения с помощью математического моделирования.

Актуальность темы исследования: математическое моделирование распределения потоков воздуха в системах вентиляции зданий является одним из основных методов прогнозирования их воздушного режима.

Цель работы: составление системы нелинейных уравнений, описывающих схемы распределения воздуха в системах вентиляции зданий.

Поставленные задачи для достижения цели: представление системы вентиляции здания в виде аэродинамической сети ,состоящей из узлов, соединённых между собой связями, характеризующими сопротивление ограждающих конструкций вентиляционных каналов, приточных или вытяжных решёток.

Объект исследования: системы вентиляции и воздухораспределения зданий.

Предмет исследования: математическое моделирование распределения потоков воздуха в система вентиляции зданий.

Теоретико-методологическая основа: в данной статье задача моделирования воздухораспределения в системах вентиляции зданий сводится к составлению системы нелинейных уравнений, по расчётной схеме системы вентиляции и последующему решению системы уравнений с использованием различных математических методов. Известные методы, - Ньютона, Зейделя, обобщенного приведенного градиента и т.д.

					08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		12

Научная новизна: применение формул, приведённых в данной статье позволяет повысить точность расчёта при моделировании воздушного режима здания.

Недостатки: сложность реализации подхода, изложенного в статье обусловленная тем, что перемещение воздуха через отдельные элементы рассматриваемой аэродинамической сети характеризуется разным режимом течения. Соответственно, для корректного описания воздухораспределения необходимо на каждом конкретном воздухопроницаемом элементе задавать математическую модель «давление – расход воздуха», определять величины характеристик сопротивления и показателей степени.

Практическая значимость полученных результатов: использование формул, приведённых в данной статье обеспечивает универсальность подхода к аппроксимации зависимостей «расход воздуха – перепад давления» для всех элементов аэродинамической сети и позволяет более точно определять расходы воздуха и потери давления при математическом моделировании воздушного режима здания.

Результаты внедрения: экспериментальная проверка корректности предложенных формул была выполнена на лабораторном стенде.

Используемая литература:

1. Гинцбург Э. Я. Расчет отопительно-вентиляционных систем с помощью ЭВМ. М.: Стройиздат, 1979. 183 с.
2. Константинова В. Е. Расчеты воздухообмена в жилых и общественных зданиях. М.: Стройиздат, 1964. 156 с.
3. Константинова В. Е. Воздушно-тепловой режим в жилых зданиях повышенной этажности. М.: Стройиздат, 1969. 136 с.

2 РАСЧЁТ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО МЕТОДИКЕ СП 60.13330.2016.

Целью расчета воздухораспределения является определение максимальных скорости и избыточной температуры приточной струи в обслуживаемой (рабочей) зоне помещения для сопоставления с нормируемыми значениями, в соответствии с [4].

Указанная цель обеспечивается корректным выбором схемы подачи приточного воздуха, а также подбором типоразмера и требуемого количества воздухораспределительных устройств (ВР) с учетом [21].

Исходными данными для выбора и расчета ВР являются:

- тип и назначение помещения;
- архитектурно-планировочные и дизайнерские решения, акустические характеристики;
- удельные тепловые нагрузки для всех периодов года и режимов работы;
- нормируемые параметры воздуха в обслуживаемой зоне, согласно [4]. .

Все способы расчета воздухораспределения подразумевают предварительный выбор схемы подачи и типоразмера ВР, которые уточняются в процессе расчета параметров струи. Площадь вентилируемого помещения разбивают на модули, обслуживаемые каждым ВР.

Размеры модуля должны обеспечить равномерное распределение приточного воздуха и отсутствие застойных зон.

Наиболее характерные схемы подачи для всех классов ВР приведены на рисунке 1. Все приведенные схемы пригодны для подачи изотермического либо охлажденного воздуха. Для систем вентиляции и кондиционирования, совмещенных с воздушным отоплением, следует применять подачу нагретого воздуха сверху вниз наклонными или вертикальными компактными или коническими смыкающимися струями.

					08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		14

Для плоских и веерных струй:

$$x_{отр} = 0,4 \cdot H, \quad (2.4)$$

где H – геометрическая характеристика приточной струи, м, определяется по следующей формуле:

Для компактных, конических и веерных струй:

$$H = \frac{\sqrt{T_{co}} \cdot m \cdot V_0 \cdot \sqrt[4]{F_0}}{\sqrt{n \cdot \Delta t_0 \cdot g}}, \quad (2.5)$$

Для плоских струй:

$$H = \sqrt[3]{b_0 \cdot T_{co}^2 \cdot \frac{(m_1 \cdot V_0)^4}{(n_1 \cdot \Delta t_0 \cdot g)^2}}, \quad (2.6)$$

где m – кинематический (или скоростной) коэффициент ВР;

$m_1 = m/2,45$ – кинематический коэффициент для плоского участка струи;

n – температурный коэффициент ВР;

$n_1 = n/2,45$ – температурный коэффициент для плоского участка струи;

F_0 – площадь расчетного сечения ВР;

b_0 – ширина расчетного сечения ВР;

V_0 – скорость в расчетном сечении ВР, м/с;

T_{co} – температура окружающей среды;

g – ускорение свободного падения, м/с

Δt_0 – избыточная температура воздуха на истечении приточной струи из ВР, °С, определяется по формуле:

$$\Delta t_0 = |t_0 - t_{0.з.}|, \quad (2.7)$$

где t_0 – температура приточного воздуха, °С.

$t_{0.з.}$ – температура воздуха в обслуживаемой зоне помещения, °С.

2. Определяются значения максимальной скорости V_x и избыточной

температуры Δt_x в месте внедрения струи в обслуживаемую зону: :

- для компактных, веерных, конических струй и плоских струй при $x \geq 6 \cdot a_0$:

$$V_x = \frac{m \cdot V_0 \cdot \sqrt{F_0}}{x} \cdot K_c \cdot K_B \cdot K_H = \frac{m \cdot L_0}{x \cdot \sqrt{F_0}} \cdot K_c \cdot K_B \cdot K_H \quad (2.8)$$

$$\Delta t_x = \frac{n \cdot \Delta t_0 \cdot \sqrt{F_0}}{x} \cdot \frac{K_B}{K_c \cdot K_H} \quad (2.9)$$

Для плоских струй при $x < 6 \cdot a_0$:

$$V_x = \frac{m_1 \cdot V_0 \cdot \sqrt{b_0}}{\sqrt{x}} \cdot K_c \cdot K_B \cdot K_H \quad (2.10)$$

$$\Delta t_x = \frac{n_1 \cdot \Delta t_0 \cdot \sqrt{b_0}}{\sqrt{x}} \cdot \frac{K_B}{K_c \cdot K_H} \quad (2.11)$$

где t_x – максимальная (при подаче нагретого воздуха) или минимальная (при подаче охлажденного воздуха) температура воздуха в рассчитываемом сечении приточной струи, °С;

L_0 – объемный расход приточного воздуха, м³/ч;

K_c – коэффициент стеснения;

K_B – коэффициент взаимодействия: при равномерном расположении ВР принимается равным $K_B=1$, при неравномерном – по [табл. Л1, 4];

Поправочные коэффициенты K_c, K_B, K_H для рассматриваемой схемы принимаются равными: $K_c = 0,8$, $K_B = 1$, $K_H = 1$.

Пример расчёта:

В качестве примера применения методики расчёта системы воздухораспределению будет проводиться расчёт в комнате со следующими геометрическими параметрами: шириной 4 м, длиной 6 м и высотой 3 м. Температура внутреннего воздуха принимается равно 18 °С. Расход воздуха в помещении принимается на основе трёхкратного воздухообмена и будет равен $L_0 = 216$ м³/ч

Распределение воздуха в помещение будет осуществляться через Решетку АМР размерами 300х100 которые оснащены интегрированными в корпус решетки регуляторами расхода воздуха. Значения кинематического и температурного коэффициентов выбранных воздухораспределителей и схеме подаче воздуха приведены в приложении А.

Регулирование расхода воздуха осуществляется с помощью флажкового механизма поворота жалюзи регулятора вручную без использования инструмента.

Расход воздуха в помещении принимается на основе трёхкратного воздухообмена. Раздача воздуха будет осуществляться по схеме «сверху-вниз» настилающимися на потолок струями.

Так как воздух будет подаваться с меньшей температурой, чем температура воздуха внутри помещения, то расчётная длина струи будет определяться по следующей формуле (2.2):

					08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		17

$$x = 5,3 + 3 - 2 = 6,3 \text{ м}$$

Расстояние от ВР до точки отрыва струи от потолка, $x_{\text{отр}}$, определяется по формуле (2.3):

$$x_{\text{отр}} = 0,5 \cdot 10,5 = 5,3 \text{ м}$$

Геометрическую характеристику приточной струи, H , рассчитаем по формуле (2.5):

$$H = \frac{\sqrt{291} \cdot 8,4 \cdot ((216/0,027)/3600) \cdot \sqrt[4]{0,027}}{\sqrt{5,1 \cdot 3 \cdot 9,81}} = 10,5 \text{ м}$$

Избыточную температуру воздуха на истечении приточной струи из ВР, °С, рассчитаем по формуле (2.7):

$$\Delta t_0 = |15 - 18| = 3^\circ\text{С}$$

Определим значения максимальной скорости V_x и избыточной температуры Δt_x в месте внедрения струи в обслуживаемую зону по формулам (2.8) и (2.9) соответственно:

$$V_x = \frac{8,4 \cdot 216}{6,3 \cdot \sqrt{0,027} \cdot 3600} \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 = 0,39 \text{ м/с}$$

$$\Delta t_x = \frac{5,1 \cdot 3 \cdot \sqrt{0,027}}{6,3} \cdot \frac{1}{0,8 \cdot 1} = 0,5^\circ\text{С}$$

3 РАСЧЁТ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО МЕТОДИКЕ ИЗ СПРАВОЧНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

3.1 Общие положения

Воздухообмен следует организовывать таким образом, чтобы обеспечить соблюдение требований по предельному содержанию вредных веществ и норм метеорологических условий в воздухе рабочей или обслуживаемой зоны (РЗ), а также норм взрывопожарной безопасности наиболее экономичным способом.

В процессе организации воздухообмена и при подборе воздухораспределительных устройств (ВР) необходимо решить следующие задачи:

- 1) определить требуемый расход вентиляционного воздуха;
- 2) установить экстремальные значения скоростей и температур воздуха (концентраций) в рабочей или обслуживаемой зоне помещения;
- 3) разработать расчетные схемы циркуляции воздушных потоков в помещении;
- 4) обеспечить при необходимости условия для равномерного распределения параметров воздуха по площади помещения.

При решении вопросов организации воздухообмена следует руководствоваться указаниями [4]. Схему организации воздухообмена необходимо выбирать в соответствии с требованиями действующих союзных и отраслевых норм и рекомендаций по проектированию конкретных производств.

Решение задач должно основываться на использовании закономерностей струйных течений при подборе ВР, вычислении расхода приточного воздуха с помощью различных моделей тепловоздушных процессов в вентилируемых помещениях (простейшая модель - уравнение тепловоздушного баланса для помещения в целом), совместного взаимосвязанного определения воздухообмена и расчета воздухораспределения. Расчеты производят на основе ручного счета или с помощью ЭВМ.

Подачу приточного воздуха непосредственно в помещения с постоянным пребыванием людей необходимо предусматривать таким образом, чтобы он не

					08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		19

поступал через зоны с большим загрязнением в зоны с меньшим загрязнением и не нарушал работу местных отсосов.

Подача приточного воздуха в РЗ рекомендуется при наличии в помещении сосредоточенных источников теплоты (литейные, кузнечные и другие горячие цехи) и избытках явной теплоты, а также в помещения, в которых теплоступления сопровождаются выделением влаги или вредных веществ.

Подача воздуха выше РЗ допускается в производственные помещения при незначительных избытках явной теплоты, имеющие пыле- и газовыделения (механические, окрасочные, сварочные и др.), и помещения общественных и административно-бытовых зданий, а также в производственные помещения с любыми избытками теплоты при капсулированном оборудовании и эффективных местных отсосах.

В производственные помещения с выделениями пыли приточный воздух, как правило, рекомендуется подавать из ВР, расположенных в верхней зоне (ВЗ).

3.2 Приточные струи

Циркуляция воздуха в помещении и распределение параметров воздуха по РЗ в значительной мере определяются способом подачи воздуха при вентиляции с искусственным побуждением, т. е. приточными струями.

В свою очередь конструкция воздухораспределительного устройства (в том числе оформление воздуховыпускного отверстия) определяет форму и направление приточной струи и характер ее развития в помещении. Струя образуется принудительным истечением воздуха из воздухораспределителя. В зависимости от конструкции воздухораспределителя струи могут быть прямоточными или закрученными. Прямоточные струи подразделяются на компактные и плоские, у которых векторы скорости на истечении параллельны между собой, а также веерные и конические, у которых векторы скорости на истечении образуют между собой некоторый угол. Закрученные струи, у которых векторы скорости на истечении складываются из векторов скорости поступательного и вращательного движения, подразделяются на компактные и конические.

					08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		20

Максимальные скорости движения воздуха V_x в струях и избыточные температуры $\Delta t_x = |t_x - t_{0.з.}|$ располагаются на условных поверхностях максимальных параметров (ПМП), где t_x – максимальная (при подаче нагретого воздуха) или минимальная (при подаче охлажденного) температура воздуха в рассчитываемом сечении приточной струи, °С; $t_{0.з.}$ – температура воздуха в рабочей зоне помещения, °С. Скорости и избыточные температуры воздуха уменьшаются к границам струи и по мере удаления струи от места истечения.

Компактные струи образуются при истечении воздуха из отверстий круглой формы или формы, близкой к квадратной. Плоскость максимальных параметров представляет собой прямую линию, совпадающую с геометрической осью струи.

Веерные струи образуются при принудительном увеличении угла раскрытия струи. Различают полные веерные струи, у которых угол раскрытия составляет 360° , и неполные, у которых этот угол менее 360° . плоскость максимальных параметров представляет собой плоскость, совпадающую с плоскостью принудительного угла раскрытия струи.

Конические струи образуются также при принудительном увеличении угла раскрытия струи. плоскость максимальных параметров представляет собой коническую поверхность, причем образующая конуса является геометрической осью струи. Коническая струя по мере удаления от начала истечения может трансформироваться в компактную, т. е. образуется коническая смыкающаяся струя.

Плоские струи образуются при истечении из вытянутых прямоугольных отверстий с отношением сторон больше 5. плоскость максимальных параметров представляет собой плоскость, совпадающую с геометрической плоскостью симметрии струи, параллельной большей стороне прямоугольного отверстия. Образующаяся при истечении из вытянутого прямоугольного отверстия струя рассчитывается как плоская на расстоянии $x < 6 \cdot l_0$, где l_0 – размер большей стороны прямоугольного отверстия; при $x > 6 \cdot l_0$ струя рассчитывается как компактная.

					08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		21

Закрученные струи образуются при установке закручивающих устройств в подводящем патрубке воздухораспределителя или при тангенциальном подводе воздуха к ВР, они имеют форму компактной или конической струи.

В зависимости от характера изменений параметров воздуха в струе различают начальный и основной участки. Струи, вытекающие из отверстий, затененных решетками или другими устройствами, образуются в результате слияния отдельных струек на участке формирования общей струи, расположенном до начального участка.

Начальный участок прямоточной струи характеризуется постоянством максимальных параметров воздуха в ее ядре, которое занимает всю площадь поперечного сечения струи в начале участка и «размывается» к концу участка, где максимальные параметры сохраняются только на плоскость максимальных параметров. Основной участок характеризуется тем, что максимальные значения скорости движения воздуха, избыточных температур и концентраций в струе уменьшаются с увеличением расстояния от ВР до рассчитываемого сечения. Основному участку свойственны сформировавшиеся подобные поля скорости, избыточной температуры и концентрации.

Закрученные струи характеризуются большей интенсивностью падения максимальных значений параметров, чем прямоточные. Постепенно по мере удаления от начала истечения закрученная струя имеет тенденцию трансформироваться в прямоточную.

Струя считается свободной при условии, что закономерности ее течения не нарушаются влиянием ограничивающих плоскостей и соседних струй.

При распространении прямоточной струи вблизи ограждения образуется настилая струя, в которой плоскость максимальных параметров практически совпадает с плоскостью ограждения.

Струя считается стесненной, если она испытывает тормозящее влияние индуцированного ею обратного (встречного) потока. Закономерности изменения параметров стесненной струи учитываются в расчетной формуле коэффициентом стеснения $K_{СОП}$. При этом уменьшаются значения скорости воздуха в струе по сравнению со свободной струей. Избыточная температура (на

					08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		22

участке от первого до второго критического сечения) падает медленнее, чем в свободной струе.

После второго критического сечения начинается оттекание части воздуха из струи в обратный поток, и избыточная температура на оси струи остается постоянной

При подаче воздуха стесненными струями, затухающими в верхней зоне, рабочей зоны омывается обратным потоком. Такая подача воздуха называется сосредоточенной. Максимальная скорость воздуха в обратном потоке (в рабочей зоне) достигается в поперечном сечении помещения, проходящем через второе критическое сечение, в котором струя имеет максимальную площадь поперечного сечения.

При подаче воздуха в помещения несколькими струями может происходить их взаимодействие, что учитывается введением в расчетные формулы коэффициента взаимодействия $K_{\text{ш}}$. При этом, если струи направлены параллельно друг другу, то увеличиваются значения параметров воздуха по сравнению с параметрами одной струи. Если струи направлены навстречу друг другу, то скорости в суммарном потоке по сравнению с одной струей уменьшаются.

Не следует учитывать взаимодействие воздушных струй, когда воздухораспределители расположены относительно равномерно и подпитка струй идет встречным потоком, приводящим к уменьшению скорости воздуха в каждой струе, учитываемому коэффициентом стеснения $K_{\text{СТ}}$.

Такой случай имеет место при сосредоточенной подаче воздуха. Не следует учитывать взаимодействие и тогда, когда воздуховыпускные устройства (плафоны, решетки, панели) располагаются равномерно по площади потолка.

Приточные струи могут развиваться в изотермических и неизотермических условиях.

Изотермическими следует считать условия, при которых температура притока не отличается от температуры воздуха в вентилируемых (и отапливаемых) помещениях.

					08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		23

где x - расстояние от места истечения струи (ВР) до рассчитываемого сечения по направлению движения струи, м.

Струи, выпущенные горизонтально или под углом к горизонтальной плоскости, под влиянием гравитационных сил отклоняются вверх, если они нагреты, или вниз - если охлаждены. При вертикальной подаче нагретого воздуха сверху вниз компактные, конические и неполные веерные струи затормаживаются на расстоянии $x = 0,55H$, плоские - на расстоянии $x = 0,8H$.

Нагретая (охлажденная) струя независимо от схемы подачи на расстоянии до сечения $x < 0,45H$ сохраняет первоначальное направление своего движения или имеет незначительное отклонение. В практических расчетах воздухораспределения такое отклонение может не учитываться.

При вертикальной подаче воздуха неизотермичность можно не учитывать, если $x < 0,35H$ или $H/\sqrt{A_0} > 100$

Максимальные параметры воздуха на начальном участке прямооточных струй рекомендуется определять по формулам:

$$v_x = v_0 \sqrt{K_{f.p} \cdot K_{\Pi}}, \quad (3.6)$$

$$\Delta t_x = \Delta t_0 \sqrt{K_{f.p} \cdot \frac{1}{K_{\Pi}}}, \quad (3.7)$$

где v_0 – скорость движения воздуха в живом сечении выпускного устройства;

$K_{f.p}$ – коэффициент живого сечения воздухораспределителя (отношение суммарной площади выпуска из воздухораспределителя к габаритной площади выпуска)

Величина коэффициента неизотермичности K_{Π} при разнонаправленном действии гравитационных и инерционных сил (для вертикальных струй) и при

$6 < \frac{H}{\sqrt{A_0}} < 14.7$ определяется по рисунку 3.1

									Лист
									25
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР				

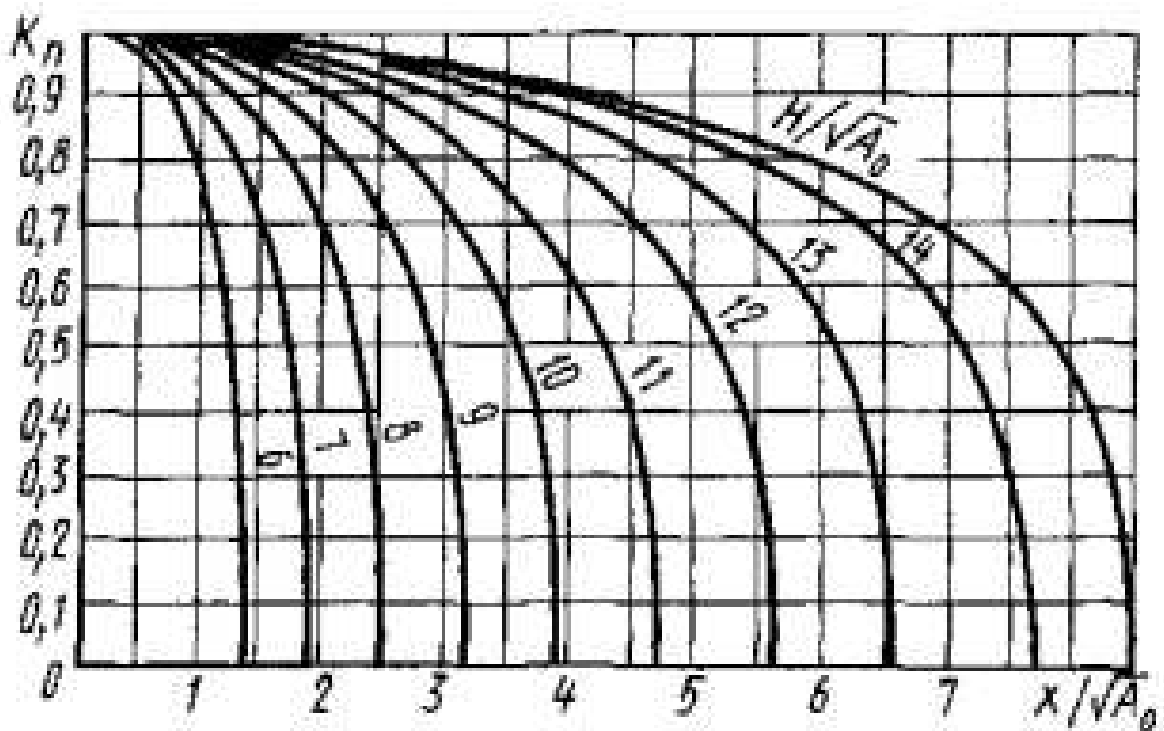


Рисунок 3.1 – График для определения коэффициента K_n при вертикальной подаче нагретого воздуха вниз.

Длина начального участка определяется по формулам:

Для компактных, конических и веерных струй, по скорости:

$$x_b = m \cdot \sqrt{A_0}, \quad (3.8)$$

по температуре и концентрации вредных веществ:

$$x_b = n \cdot \sqrt{A_0}, \quad (3.9)$$

Для плоских струй по скорости:

$$x_b = m^2 \cdot b_0, \quad (3.10)$$

по температуре и концентрации вредных веществ:

$$x_b = n^2 \cdot b_0. \quad (3.11)$$

Максимальные параметры воздуха на основном участке компактных, веерных и конических струй находят по формулам:

$$v_x = \frac{m \cdot v_0 \sqrt{A_0}}{x} K_{con} \cdot K_{in} \cdot K_n, \quad (3.12)$$

$$\Delta t_x = \frac{n \cdot \Delta t_0 \sqrt{A_0}}{x} \cdot \frac{K_{in}}{K_{con} \cdot K_n}, \quad (3.13)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Для плоских струй:

$$v_x = \frac{m \cdot v_0 \sqrt{b_0}}{\sqrt{x}} K_{con} \cdot K_{in} \cdot K_n, \quad (3.14)$$

$$\Delta t_x = \frac{n \cdot \Delta t_0 \sqrt{b_0}}{\sqrt{x}} \cdot \frac{K_{in}}{K_{con} \cdot K_n}, \quad (3.15)$$

Для плоских струй при $x > 6 \cdot l_0$ значения v_x и Δt_x определяют по формулам (3.12) и (3.13), где принимают $m = 2,45m_1$ и $n = 2,45n_1$, и $A_0 = b_0 \cdot l_0$ (m_1 и n_1 – скоростной и температурный коэффициенты воздухораспределения, образующих плоские струи).

Коэффициент стеснения K_{con} определяют по формулам:

Для компактных, веерных и конических струй:

$$K_{con} = K_{con}^T + \frac{0.9 \cdot L_{con}}{m \cdot L_0} \cdot \frac{x}{\sqrt{A_p}} \cdot \sqrt{\frac{A_0}{A_p}}, \quad (3.16)$$

Для плоских струй:

$$K_{con} = K_{con}^T + \frac{1 \cdot L_{con}}{m \cdot L_0} \cdot \sqrt{\frac{x}{H_p}} \cdot \sqrt{\frac{b_0}{H_p}}, \quad (3.17)$$

где x – путь развития струи, м;

A_p – площадь помещения, перпендикулярная потоку воздуха, приходящаяся на один ВР (струю), м²;

L_{con} – расход воздуха, удаляемого в конце развития струи, м³/ч;

L_0 – расход воздуха, подаваемого одним воздухораспределителем, м³/ч.

При подаче воздуха струями, поступающими вертикально в рабочую зону из верхней зоны, расход воздуха, удаляемого в конце развития струи (L_{con}), равен расходу воздуха, удаляемого из рабочей зоны ($L_{w,z}$), например местными отсосами. При подаче воздуха в верхнюю зону горизонтальными или наклонными струями за L_{con} , принимается расход воздуха, удаляемого через вытяжные отверстия, располагаемые в конце ячейки помещения, обслуживаемой одним ВР.

Коэффициент K_{con}^T для тупиковой схемы развития струи, когда приточные и вытяжные отверстия расположены в плоскости истечения струи, следует принимать по табл. Б1, приложение Б.

В формулах (3.13) и (3.15) коэффициент K_{con}^T принимается равным не менее 0,85.

Для полных веерных настилающихся струй коэффициент K_{con}^T принимается равным ($h_{w,z}$ – высота ВЗ):

$\frac{H_p - h_{w,z}}{A_p}$	0,1	0,4	0,8	1,2	1,6	2
K_{con}^T	0,9	0,8	0,7	0,65	0,6	0,6

Значения коэффициентов взаимодействия K_{in} зависят от расстояния между струями, их количества (рис. 3.2) и принимаются по таблице Б1, приложения Б. Коэффициенты K_{in} , приведенные для двух струй, следует вводить в формулы для определения максимальных параметров воздуха в одной струе при выпуске вблизи стен или потолка (когда создаются условия настилая струи на ближайшее сплошное ограждение), если коэффициенты m и n относятся к случаю подачи ненастилая струи.

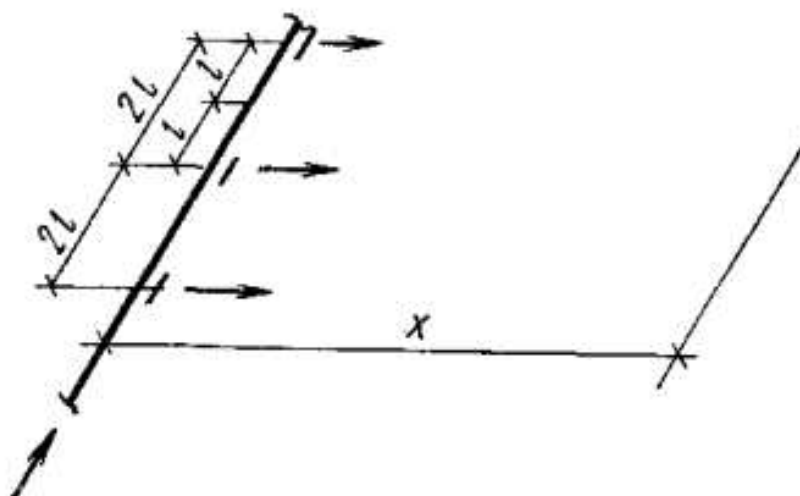


Рисунок 3.2 – Схема установки ВР в ряд

При подаче воздуха одинаковыми струями, направленными навстречу друг другу, максимальная скорость воздуха в слившемся потоке составляет 60% скорости в каждой из струй.

Величина K_n определяется по формулам:

а) при вертикальной подаче воздуха сверху вниз.

Для компактных и конических струй:

$$K_n = \sqrt[3]{1 \pm 3 \left(\frac{x}{H}\right)^2}, \quad (3.18)$$

Для неполных веерных струй

$$K_n = \sqrt[3]{1 \pm 1,5 \left(\frac{x}{H}\right)^2}, \quad (3.19)$$

Для плоских струй:

$$K_n = \sqrt[3]{1 \pm 2 \left(\frac{x}{H}\right)^3}, \quad (3.20)$$

б) при горизонтальной подаче воздуха ненастилающимися струями:

Для компактных струй:

$$K_n = \sqrt{1 \pm \left(\frac{x}{H}\right)^4}, \quad (3.21)$$

Для плоских струй:

$$K_n = \sqrt{1 \pm \left(\frac{x}{H}\right)^3}, \quad (3.22)$$

Знак «-» принимается при подаче нагретого воздуха, а знак «+» при подаче охлажденного воздуха.

в) при горизонтальной подаче охлажденного воздуха настилающимися струями величина K_n в формулах (3.12) – (3.15) принимается равной 1; при подаче нагретого воздуха K_n определяется по формулам (3.18) – (3.20), где x – сумма расстояний по горизонтали и вертикали от воздухораспределителя до места пересечения поверхности максимальных скоростей с верхним уровнем рабочей зоны;

г) при наклонной подаче под углом α к горизонтальной плоскости:

					08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		29

Для компактных струй в формуле (3.12):

$$K_n = \cos\alpha \sqrt{\cos^2\alpha \pm \left[\sin\alpha \pm \left(\frac{x}{H \cdot \cos\alpha} \right)^2 \right]^2}, \quad (3.23)$$

в формуле (3.13):

$$K_n = \frac{1}{\cos\alpha}. \quad (3.24)$$

Для плоских струй в формуле (3.14):

$$K_n = \sqrt{\cos\alpha} \sqrt{\cos^2\alpha \pm \left[\sin\alpha \pm \left(\frac{x}{H \cdot \cos\alpha} \right)^2 \right]^2}, \quad (3.25)$$

в формуле (3.15):

$$K_n = \frac{1}{\sqrt{\cos\alpha}}. \quad (3.26)$$

Вертикальное расстояние y от геометрической оси струи в расчетном сечении до уровня истечения при подаче охлажденного или нагретого воздуха под углом к горизонтальной плоскости следует определять по формулам:

Для компактных и веерных струй:

$$y = x \cdot \operatorname{tg}\alpha \pm 0,47 \frac{x^3}{H^2 \cdot \cos^3\alpha}. \quad (3.27)$$

Для плоских струй:

$$y = x \cdot \operatorname{tg}\alpha \pm 0,4 \sqrt{\frac{x^5}{H^3 \cdot \cos^5\alpha}}. \quad (3.28)$$

Горизонтальное расстояние от места истечения струи до её вершины составляет:

$$x_n = H \cdot \cos\alpha \cdot \sqrt{\sin\alpha}. \quad (3.29)$$

Вертикальное расстояние:

$$y_n = 0,67 x_n \cdot \operatorname{tg}\alpha. \quad (3.30)$$

При горизонтальной подаче охлажденного воздуха величина y определяется по формулам:

Для компактных и веерных струй:

$$y = 0,47 \cdot \frac{x^3}{H^2}. \quad (3.31)$$

Для плоских струй:

					08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		30

$$y = 0,4 \cdot \sqrt{\frac{x^5}{H^2}}. \quad (3.32)$$

Струя охлажденного воздуха, настилаяющегося на потолок, под действием гравитационных сил на некотором расстоянии от начала истечения отрывается от потолка. Место отрыва струи от потолка x_0 при подаче воздуха в помещение горизонтально составляет для компактных и неполных веерных струй $x_0 = 0,5H$, для плоских и веерных струй $x_0 = 0,4H$.

При подаче воздуха стесненными горизонтальными прямоточными струями выше рабочей зоны максимальные параметры воздуха в обратном потоке рекомендуется определять по формулам:

Для компактных и неполных веерных струй:

$$v_{max} = 0,78 \cdot v_0 \sqrt{\frac{A_0}{A_p}}. \quad (3.33)$$

$$\Delta t_{max} = 1,4 \cdot \Delta t_0 \sqrt{\frac{A_0}{A_p}}. \quad (3.34)$$

где Δt_{max} – максимальная избыточная температура воздуха в обратном потоке, определяется по формуле:

$$\Delta t_{max} = |t_{max} - t_{w.z.}|, \quad (3.35)$$

t_{max} – максимальная (при подаче нагретого) или минимальная (при подаче охлаждённого) температура воздуха в обратном потоке, °С

Для плоских струй:

$$v_{max} = 0,75 \cdot v_0 \sqrt{\frac{b_0}{H_p}}. \quad (3.36)$$

Максимальные значения параметров воздуха в обратном потоке (во втором критическом сечении) находятся на расстоянии: для компактных и неполных веерных струй:

$$x_{cr} = 0,31 \cdot m \cdot A_r \quad (3.37)$$

Для плоских струй:

$$x_{cr} = 0,15 \cdot m^2 \cdot H_p \quad (3.38)$$

Горизонтальные компактные струи настилаются на потолок, если воздухораспределитель находится на расстоянии от пола $h > 0,65 \cdot H_p$. При $h = (0,35 + 0,65) H_p$ компактные струи не будут настиляться. Веерные и плоские струи менее устойчивы и с удалением от воздухораспределителя настилаются на ближайшее ограждение независимо от значения h .

Размеры зоны прямого воздействия струи рекомендуется определять по формулам:

Для компактных, смыкающихся конических и неполных веерных струй:

$$R = 0,66 \cdot \frac{x}{m}, \quad (3.39)$$

Для веерных и несмыкающихся конических струй:

$$R = 0,095 \cdot \frac{x}{m^2}. \quad (3.40)$$

Для плоских струй:

$$R = 0,67 \cdot \frac{x}{m^2}, \quad (3.41)$$

где R – расстояние от поверхности максимальных скоростей до границы зоны прямого воздействия, где скорость равно $0,5 \cdot v_x$

Относительная площадь приточной струи при поступлении ее в рабочую зону рассчитывается по формулам:

Для веерных струй:

$$\overline{A}_g = 1 - 0,15 \left(2 - \frac{H_p - h_{w,z}}{\sqrt{A_p}} \right)^2. \quad (3.42)$$

Для конических несмыкающихся струй:

$$\overline{A}_g = 0,27 \frac{(H_p - h_{w,z})^2}{A_p}. \quad (3.43)$$

Для конических смыкающихся струй:

$$\overline{A}_g = \frac{A_0}{A_p} \cdot \left[C_1 + C_2 \cdot \left(\frac{h - h_{w,z}}{1,13 \sqrt{A_0}} - C_3 \right) \right]^2 \quad (3.44)$$

Для горизонтальных компактных и неполных веерных струй (струи настилаются на потолок и поступают вертикально в рабочую зону после поворота в результате взаимодействия со стенами или встречными струями:

$$\overline{A_g} = \begin{cases} \frac{0,53}{m} \cdot \frac{(b_1 + H_p - h_{w,z})^2}{a_1 \cdot b_1} & \text{при } S < a_1 \\ 0,22 \cdot \frac{b_1 + H_p - h_{w,z}}{b_1} & \text{при } S \geq a_1 \end{cases} \quad (3.45)$$

$$S = \frac{2,4}{m} (b_1 + H_p - h_{w,z}). \quad (3.46)$$

где a_1 – ширина;

b_1 – длина ячейки, обслуживаемая струей;

$h_{w,z}$ – высота установки воздухораспределителя над полом;

Для плоских струй:

$$\overline{A_g} = 0,22 \cdot \frac{b_1 + H_p - h_{w,z}}{b_1}. \quad (3.47)$$

Константы C_1 , C_2 , и C_3 в формуле (3.44) приведены в таблицу 3.1

Таблица 3.1 – Константы для определения относительной площади конических смыкающихся струй

Тип ВР	C_1	C_2	C_3
ВР	4	0,44	2
ПРМ	0	0,44	-10

При расчете плоских струй, образуемых решетками, установленными в ряд, следует принимать $m = 2,5$ и $n = 2$ для ненастилающихся струй и $m = 3,5$ и $n = 2,8$ для настилающихся.

3.3 Расчёт воздухораспределения на основе рассмотренной методики

В качестве примера применения методики расчёта системы воздухораспределению будет проводится расчёт в комнате со следующими геометрическими параметрами: шириной 4 м, длиной 6 м и высотой 3 м. Температура внутреннего воздуха принимается равно 18 °С. Расход воздуха в помещении принимается на основе трёхкратного воздухообмена и будет равен $L_0 = 216 \text{ м}^3/\text{ч}$

Распределение воздуха в помещении будет осуществляться через Решетку АМР размерами 300x100 которые оснащены интегрированными в корпус решетки регуляторами расхода воздуха. Значения кинематического и температурного коэффициентов выбранных воздухораспределителей и схеме подаче воздуха приведены в приложении А.

Регулирование расхода воздуха осуществляется с помощью флажкового механизма поворота жалюзи регулятора вручную без использования инструмента.

Расход воздуха в помещении принимается на основе трёхкратного воздухообмена. Раздача воздуха будет осуществляться по схеме «сверху-вниз» настилающимися на потолок струями.

Так как воздух будет подаваться с меньшей температурой, чем температура воздуха внутри помещения, то расчётная длина струи до рассчитываемого сечения по направлению движения струи будет определяться по следующей формуле:

$$x = 5,8 + 3 - 2 = 6,3 \text{ м}$$

Расстояние от ВР до точки отрыва струи от потолка, $x_{отр}$, определяется по формуле:

$$x_{отр} = 0,55 \cdot 10,5 = 5,8 \text{ м}$$

Геометрическую характеристику H рассчитаем по формуле (3.1):

$$H = 5,45 \cdot 8,4 \cdot 2,2 \frac{\sqrt[4]{0,027}}{\sqrt{5,1 \cdot 3}} = 10,5 \text{ м}$$

Скорость движения воздуха, отнесённая к расчётной площади воздухораспределителя определяется:

$$v_0 = \frac{L}{F_0 \cdot 3600} = \frac{216}{0,027 \cdot 3600} = 2,2 \text{ м/с}$$

Избыточную температуру воздуха на истечении приточной струи из ВР, °С, рассчитаем по формуле (3.3):

$$\Delta t_0 = |15 - 18| = 3^\circ\text{C}$$

Коэффициент стеснения K_{con} определим по формуле (3.16):

$$K_{con} = 1 + \frac{0,9 \cdot 216}{8,4 \cdot 216} \cdot \frac{6,3}{\sqrt{3 \cdot 4}} \cdot \sqrt{\frac{0,027}{3 \cdot 4}} = 1,01$$

Значения коэффициента взаимодействия K_{in} зависят от расстояния между струями, принимаются по таблице Б1, приложения Б.

$$K_{in} = 1$$

Величина K_n определяется по формуле (3.18):

$$K_n = \sqrt[3]{1 + 3 \left(\frac{6,3}{10,5} \right)^2} = 1,27$$

Определим значения максимальной скорости V_x и избыточной температуры Δt_x в месте внедрения струи в обслуживаемую зону по формулам (3.12) и (3.13) соответственно:

$$v_x = \frac{8,4 \cdot 2,2 \sqrt{0,027}}{6,3} 1,01 \cdot 1 \cdot 1,27 = 0,63 \text{ м/с.}$$

$$\Delta t_x = \frac{5,1 \cdot 3 \sqrt{0,027}}{6,3} \cdot \frac{1}{1,01 \cdot 1,27} = 0,31 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

4 ПРОВЕРКА РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЁТА ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Результаты расчётов воздухораспределения, выполненных по методика СП 60.13330.2016 и справочнику проектировщика, были проверены с помощью компьютерного моделирования на программе SolidWorks.

SOLIDWORKS Flow Simulation позволяет проектировщикам моделировать потоки жидкости и газа в условиях реального мира, запускать сценарии "что, если" и эффективно анализировать последствия потока жидкости, теплообмена и связанных сил, действующих на компоненты и проходящих через них. В решении также можно быстро сравнивать варианты проекта, чтобы оптимизировать принятие решений и производить более эффективные изделия.

SOLIDWORKS Flow Simulation предлагает два модуля потоков, которые охватывают специальные отраслевые инструменты, практики и методы моделирования: модуль систем отопления, вентиляции и кондиционирования (HVAC) и модуль охлаждения электроники. Эти модули представляют собой дополнительные модули в лицензии SOLIDWORKS Flow Simulation.

4.1 Принцип работы методов моделирования

CFD моделирование (Computational Fluid Dynamics) — это подраздел вычислительной гидродинамики, включающий совокупность физических, математических и численных методов, предназначенных для вычисления характеристик потоковых процессов, иными словами: исследования в области гидродинамики на основе уравнений гидро- или газодинамики потоков с широчайшими возможностями представления расчётных данных.

В результате CFD моделирования мы получаем объект исследования с визуализацией цветовым полем градиента практически любых параметров гидро-газо-динамических потоков, то есть, грубо говоря, мы имеем возможность визуально увидеть не только всю картину распределения гидро-газо-динамических потоков, влияние внешних факторов (солнечной радиации, атмосферного давления, потоков из смежных помещений или проемов, инфильтрации, тепло-влаго-газо-выделений от технологического оборудования, освещения, человека и прочее), но и, грубо говоря, «ткнув» в любую точку в 3-D

					08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		36

пространстве исследуемого объекта - увидеть все интересующие нас параметры. Всё это в дальнейшем ложится в основу выполнения определенных задач с последующим включением результатов в разработку проектной документации, например, выработке концепций по размещению и типу воздухораспределительных и воздухозаборных устройств, определению конкретных температурно-влажностных параметров, достоверному прогнозированию удаления вредных газовых веществ до норм ПДК, подтверждению математических расчетов и внесение изменений при конструкторской разработке вентиляционных и аспирационных устройств (бортовых и кольцевых местных отсосов, систем газоочистки, фильтров, скрубберов, циклонов и многого, многого другого), исследованию различных воздушно-температурных течений и влияние их на объекты анализа, определение параметров комфортности в рабочих зонах, создание максимально комфортного микроклимата, экологически чистых и энергоэффективных помещений и так далее и тому подобное.

Далее. HVAC (Heating Ventilation Air Conditioning) - в дословном переводе, системы отопления, вентиляции и кондиционирования, а в более широком понимании - технологии поддержания нормируемых, безопасных и комфортных параметров температуры, влажности, скорости воздушного потока, воздухообмена в целом, химического состава воздуха и прочих параметров в помещениях зданий и сооружений различного назначения. То есть, CFD моделировании HVAC - это мощное решение вычисления гидродинамики, позволяющее моделировать эффекты потока жидкостей и газов в условиях прогнозируемой реальности, запускать неограниченное число «сценариев» и эффективно анализировать последствия потоков, теплообмена, гидродинамических и связанных сил, действующих на компоненты и проходящих через них, которые критически важны для успешного проектирования еще на начальном этапе.

Основные минусы программы, по которым её не используют повсеместно во-первых, это очень сложная, требующая высококвалифицированных специалистов, больших трудозатрат и времени работа. А это означает

					08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		37

увеличение сроков проектирования и заметного удорожания стоимости проектных работ. Так же сюда можно отнести эксклюзивность и единичность выполняемых проектов, а также наличие у исполнителя, то есть проектанта, мощных (очень мощных и дорогостоящих) компьютеров для данных расчетов.

Во-вторых, анализ CFD моделирования безоговорочно укажет на все недостатки и промахи принятых проектных решений, а следовательно, на профессионализм и качество работ проектанта, и уже не получится сделать проект «как бы» по всем нормам, но на практике не дающего требуемых результатов и качества. Следовательно, обойтись минимальными трудозатратами не выйдет. Проектант, в большинстве случаев, не заинтересован, что бы его расчеты и решения «перепроверялись» и опровергались при анализе CFD-моделирования. Например, он рассчитал нормируемую скорость, температуру, влажность воздуха в рабочей зоне, подобрал климатическое оборудование, проделал огромный объем работ, а достоверное CFD прогнозирование показало совершенно другие результаты... В-третьих, выполнение исследований по CFD моделированию требует более тщательных и максимально полных работ на подготовительном этапе: по сбору исходных данных, инженерному обследованию, предварительным замерам, а следовательно, наличие определенного опыта, привлечение дополнительных ресурсов и специалистов.

4.2 Результаты моделирования рассмотренного объекта

В качестве примера расчёта системы воздухораспределению было выполнено моделирование воздушных потоков в комнате со следующими геометрическими параметрами: шириной 4 м, длиной 6 м и высотой 3 м. Температура внутреннего воздуха принималась равной 18 °С. Расход воздуха в помещении принимался на основе трёхкратного воздухообмена и был равен $L_0 = 216 \text{ м}^3/\text{ч}$

Распределение воздуха в помещении осуществлялось через Решетку АМР размерами 300x100 которая оснащена интегрированными в корпус решетки регуляторами расхода воздуха.

Раздача воздуха будет осуществляться по схеме «сверху-вниз» настилающимися на потолок струями.

					08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		38

Распределение скоростей по комнате согласно программе приведено ниже



Рисунок 4.1 – Распределение скоростей по комнате

Проверим распределение скоростей при удалении воздушного потока от воздухораспределителя. Результаты моделирования приведены на рис. 3.2-3.4

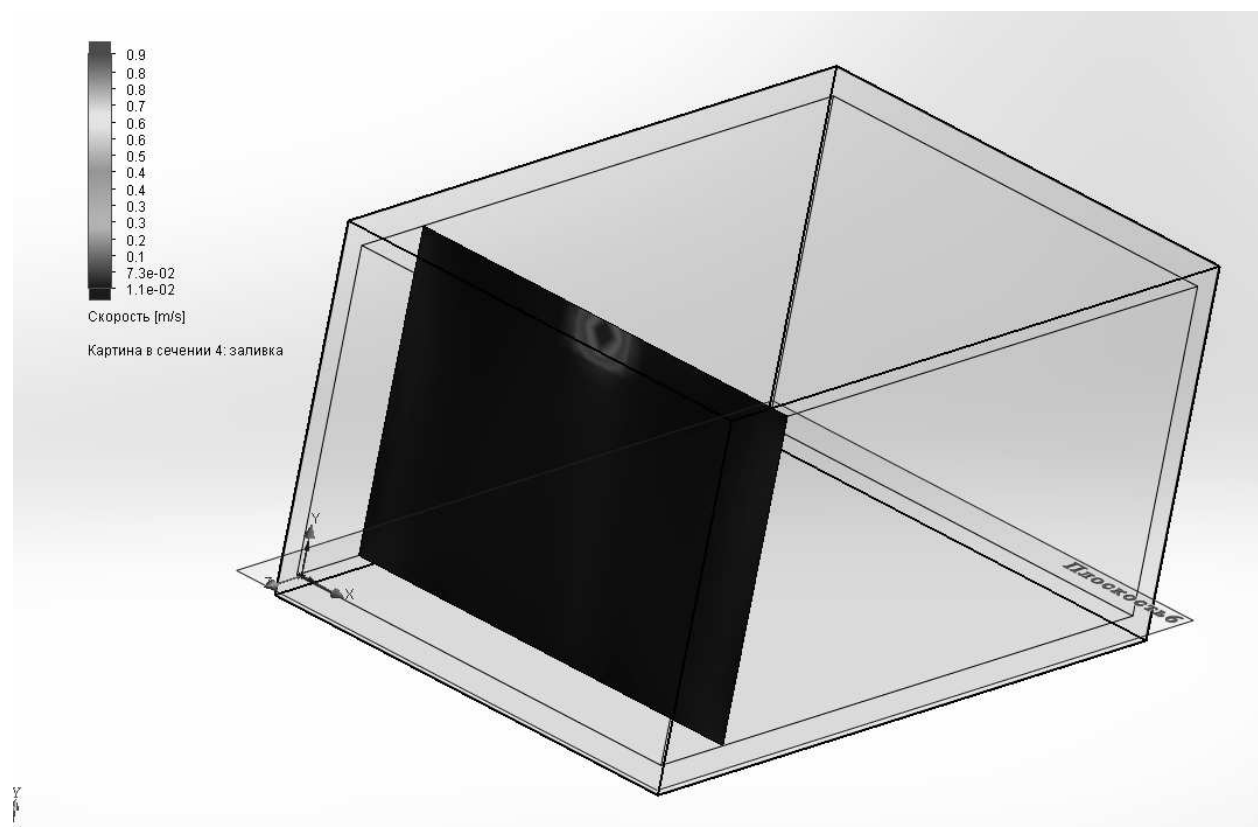


Рисунок 4.2 – Распределение скоростей возле воздухораспределителя

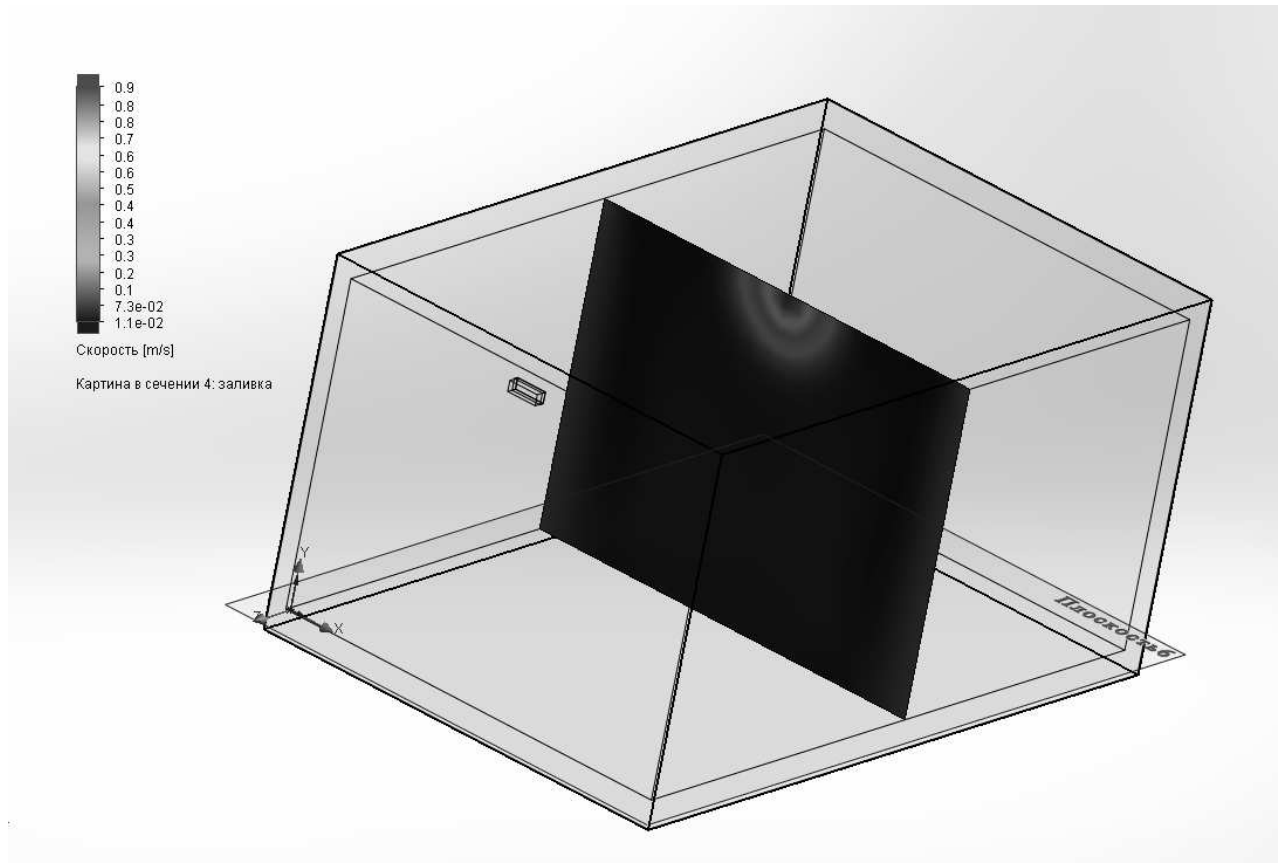


Рисунок 4.3 – Распределение скоростей в центре комнаты.

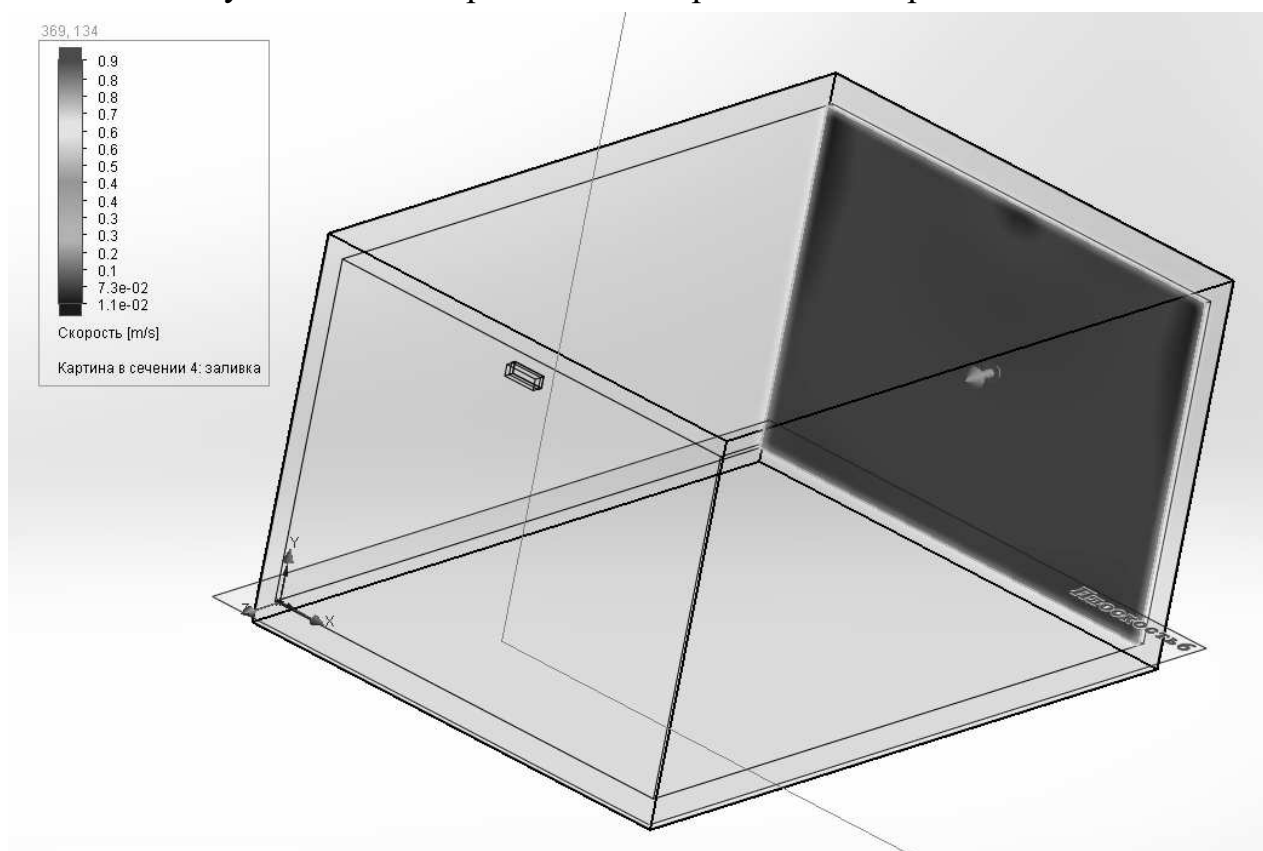


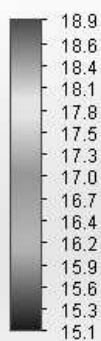
Рисунок 4.4 – Распределение скоростей в конце комнаты.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР

Лист

40



Температура [°C]

Картина в сечении 5: заливка

Z

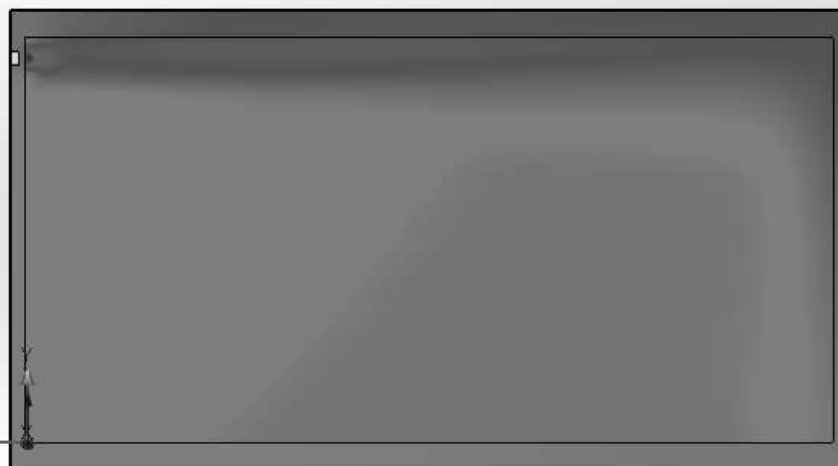
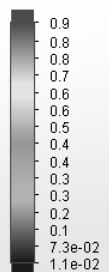


Рисунок 4.5 – Распределение температуры воздушной струи в помещении.

По результатам моделирования видно, что в конце комнаты происходит отрыв воздушного потока от потолка. Результаты приведены на рисунке 4.6



Скорость [m/s]

Картина в сечении 4: заливка
 Картина в сечении 5: заливка
 Траектории потока 1
 Траектории потока 2

Z

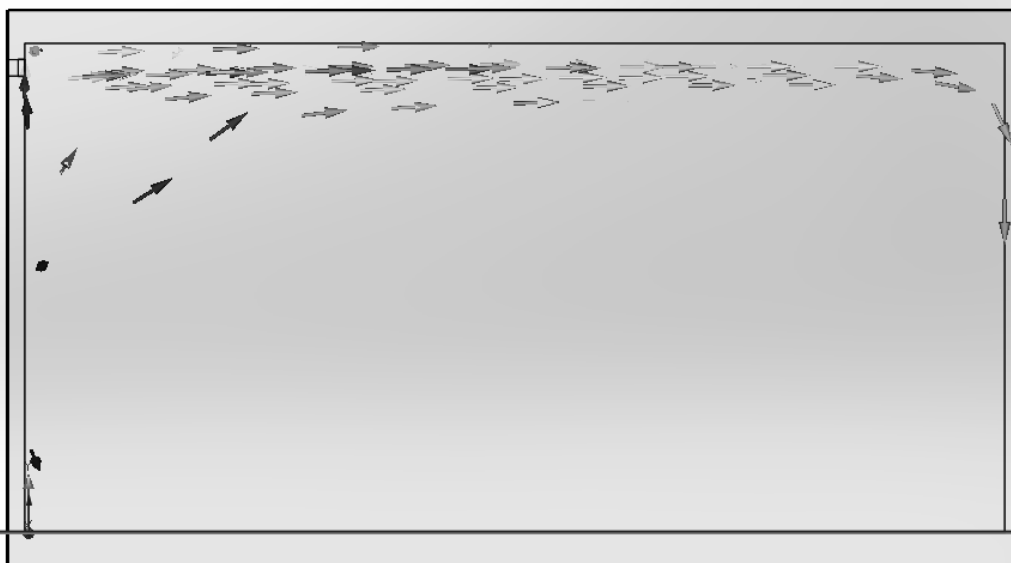


Рисунок 4.6 – Отрыв воздушного потока от потолка.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР

Лист

41

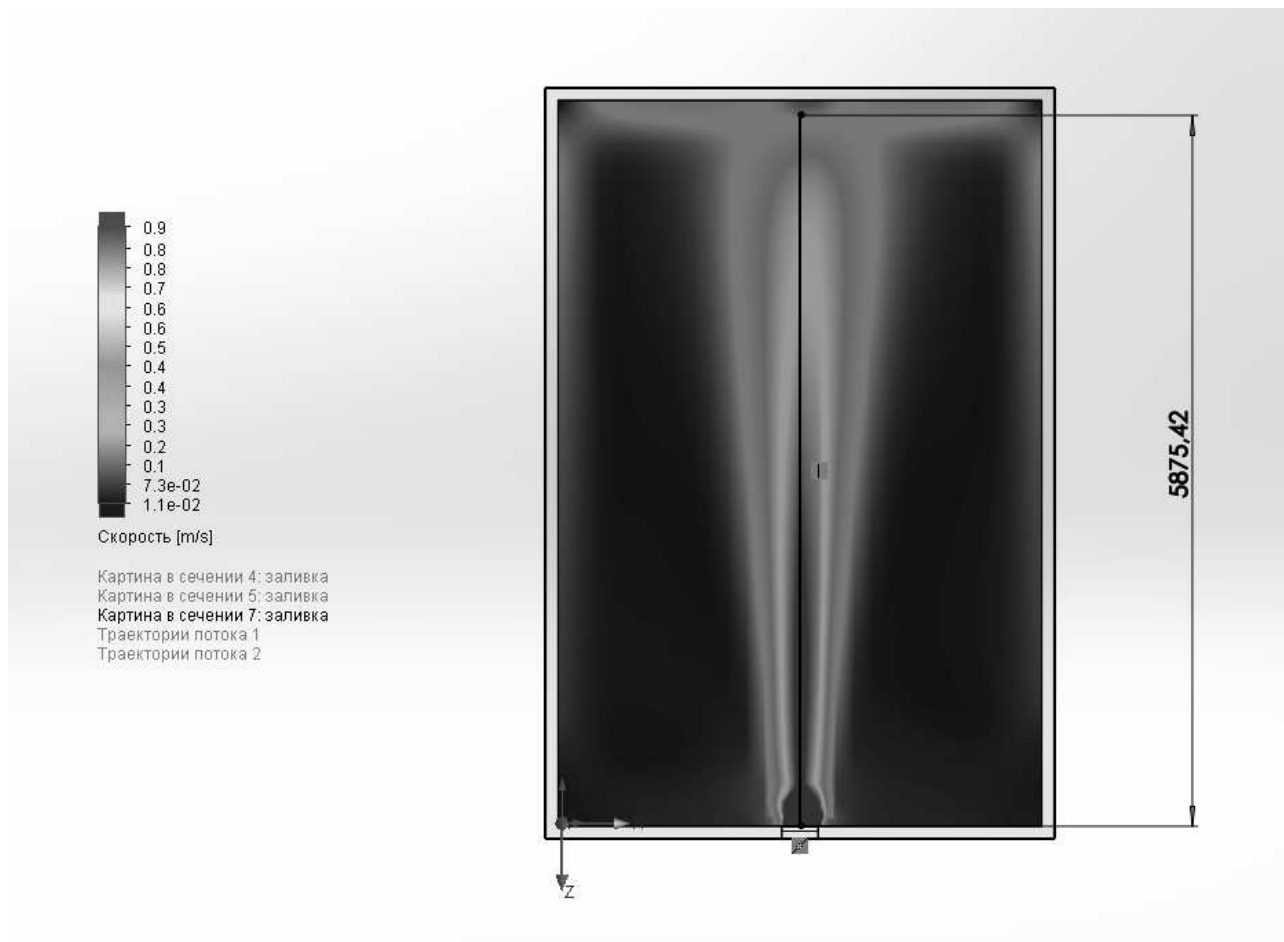


Рисунок 4.7 – Расстояние отрыва воздушного потока от потолка.

Выполнив компьютерное моделирование воздушного потока в комнате с заданными геометрическими параметрами и расходом воздуха, получили следующие результаты:

Отрыв воздушного потока от потолка происходит на расстоянии 5,8 м от воздухораспределительного устройства.

$$x_{\text{отр}} = 5,8 \text{ м}$$

Скорость воздуха в рабочей зоне получилась равной 0,53 м/с.

$$V_x = 0,53 \text{ м/с}$$

Значение избыточной температуры в месте внедрения приточной струи в обслуживаемую зону получилось равным 0,3 °С.

$$\Delta t_x = 0,3 \text{ °С}$$

4.3 Сравнение результатов воздухораспределения.

Для оценки, результатов воздухораспределения приточной струи внутри помещения, полученных с помощью методики расчёта по нормативной

литературе, справочной литературе и с помощью компьютерного моделирования проведём их сравнение и способы получения, а так же сведём их в единую таблицу для наглядности.

Выпишем результаты, полученные из расчётов по методике из нормативной литературы СП 60.13330. 2016.

Расстояние, на котором происходит отрыв воздушного потока:

$$x_{\text{отр}} = 5,3 \text{ м}$$

Скорость воздушного потока на входе в рабочую зону:

$$V_x = 0,39 \text{ м/с}$$

Избыточная температура при входе воздушного потока в рабочую зону:

$$\Delta t_x = 0,5 \text{ °С}$$

Результаты, полученные согласно стандартной методике расчёта из справочной литературы:

Расстояние, на котором происходит отрыв воздушного потока:

$$x_{\text{отр}} = 5,8 \text{ м}$$

Скорость воздушного потока на входе в рабочую зону:

$$V_x = 0,63 \text{ м/с.}$$

Избыточная температура при входе воздушного потока в рабочую зону:

$$\Delta t_x = 0,31 \text{ °С.}$$

Результаты, полученные на основе компьютерного моделирования воздушного потока в программе Flow Simulation.

Расстояние, на котором происходит отрыв воздушного потока:

$$x_{\text{отр}} = 5,8 \text{ м}$$

Скорость воздушного потока на входе в рабочую зону:

$$V_x = 0,53 \text{ м/с.}$$

Избыточная температура при входе воздушного потока в рабочую зону:

$$\Delta t_x = 0,3 \text{ °С.}$$

Проанализировав результаты расчёта параметров воздушной струи на входе в обслуживаемую зону, можно сделать вывод, что результаты, полученные на

					08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		43

основе расчёта по методикам различаться, но значения, полученные при компьютерном моделировании ближе всего к значениям, полученным по расчётом из справочной методики. Проанализировав ход расчёта параметров воздушной струи, можно сделать вывод, что значения скорости воздушного потока и избыточной температуры разнятся в основном из-за разных значений коэффициентов стеснения K_{con} , коэффициента взаимодействия K_{in} коэффициент неизотермичности K_n .

Попробуем подставить значения выше указанных коэффициентов из нормативной литературы в формулы расчёта максимальной скорости и избыточной температуры на входе в рабочую зону из справочной литературы.

Выбор значений коэффициентов выполняется на основе информации из [4] и приведён на рисунках ниже.

K_c - коэффициент стеснения;

K_b - коэффициент взаимодействия: при равномерном расположении ВР принимается равным $K_b=1$, при неравномерном - по таблице Л.1;

Таблица Л.1 Коэффициент взаимодействия K_b при неравномерном расположении ВР в помещении

Число струй	Значение K_b при x/l равном							
	10	20	30	40	50	60	80	100
2	1	1,15	1,3	1,35	1,35	1,4	1,4	1,4
3	1	1,2	1,4	1,55	1,6	1,7	1,7	1,7
4	1	1,2	1,5	1,65	1,8	1,8	1,9	2,0
5	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2,0	2,1	2,1
6	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2,0	2,2	2,3
7	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,4
8	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5
9	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2,1	2,35	2,6
10	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2,1	2,4	2,6
11	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2,1	2,4	2,6
12 и более	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2,1	2,4	2,7

Примечание - здесь l - расстояние между воздухораспределителями.

Рисунок 4.8 – Значение коэффициента взаимодействия.

В рассматриваемом нами случае, воздухораспределитель в комнате один, поэтому коэффициент взаимодействия принимается равным $K_b = 1$.

Поправочные коэффициенты K_c , K_b , K_n для рассматриваемой схемы принимаются равными: $K_c=0,8$, $K_b=1$, $K_n=1$.

Рисунок 4.9 – Значения коэффициентов стеснения и неизотермичности.

При выбранной схеме подачи воздуха настилающимися на потолок струями значения коэффициента стеснения принимается равным $K_c = 1$ и значения коэффициента неизотермичности принимается равным $K_n = 1$.

Подставив значения выше указанных коэффициентов в формулы расчёта максимальной скорости и избыточной температуры (3.12) и (3.13) соответственно, получаем следующие результаты:

$$v_x = \frac{8,4 \cdot 2,2\sqrt{0,027}}{6,3} 1 \cdot 1 \cdot 0,8 = 0,39 \text{ м/с.}$$

$$\Delta t_x = \frac{5,1 \cdot 3\sqrt{0,027}}{6,3} \cdot \frac{1}{0,8 \cdot 1} = 0,5 \text{ }^\circ\text{C.}$$

По полученным данным можно сделать выводы, что результаты расчёта параметров воздушной струи полностью зависят от значений коэффициентов стеснения K_{con} , коэффициента взаимодействия K_{in} коэффициент неизотермичности K_n , значения которых рассчитываются или принимаются различными в зависимости от рассматриваемой схемы подачи приточного воздуха.

Для наглядности выполненной работы сведём результаты расчётов в одну таблицу 4.1, которая приводится ниже.

Таблица 4.1 – Результаты расчёта параметров воздушной струи.

Параметры воздушной струи	Методика расчёта		
	Нормативная литература СП 60.13330.2016	Справочная литература (Справочник проектировщика)	Компьютерное моделирование с помощью Flow Simulation
Расчётная длина струи с учётом отрыва от потолка, $X_{отр}$, М	5,3	5,8	5,8
Скорость воздушного потока на входе в рабочую зону, V_x , м/с	0,39	0,63	0,53
Избыточная температура при входе воздушного потока в рабочую зону, Δt_x , $^\circ\text{C}$	0,5	0,31	0,3

На основе значений параметров воздушной струи, полученных при помощи различных методик расчёта систем воздухораспределения можем сделать вывод, что к результатам, полученным на основе компьютерного моделирования больше приближены значения, полученные на основе справочной методики при параметрах архитектурно-планировочных решениях помещения и схемы подачи приточного воздуха на основе, которых проводились все расчёты.

4.4 Расчёт воздухораспределения при подаче воздуха в рабочую зону низкоскоростными струями

В прошлых разделах выпускной квалификационной работе рассматривали методики расчёта воздухораспределения при подаче приточного воздуха настилающимися на потолок струями. В этом разделе выполним аналогичные расчёты, но подача воздуха в рабочую зону будет осуществляться низкоскоростными потоками и для получения сравнения большего числа вариантов воздухораспределения примем, что температура приточной струи будет больше, чем температура внутреннего воздуха.

Расчёт системы воздухораспределению будет проводится в комнате со следующими геометрическими параметрами: шириной 5 м, длиной 10 м и высотой 3 м. Температура внутреннего воздуха принимается равно 18 °С. Температура приточного воздуха принимается равной 21 °С. Расход воздуха в помещении принимается на основе трёхкратного воздухообмена и будет равен $L_0 = 450 \text{ м}^3/\text{ч}$

Распределение воздуха в помещение будет осуществляться через низкоскоростной воздухораспределитель 2ВНЛ. Значения кинематического и температурного коэффициентов выбранных воздухораспределителей и схеме подаче воздуха приведены в приложении А.

Подача воздуха будет осуществлять в рабочую зону

Расчёт по СП 60.13330.2016

В качестве расчётной струи принимается расстояние от воздухораспределителя до ближайшего рабочего места в нашем случае это расстояние равно 2 м.

$$x = 2 \text{ м}$$

Геометрическую характеристику приточной струи, H , рассчитаем по формуле (2.5):

					08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		46

Значения коэффициента взаимодействия K_{in} зависят от расстояния между струями, принимаются по таблице Б1, приложения Б.

$$K_{in} = 1$$

Величина K_n определяется по формуле (3.21):

$$K_n = \sqrt[2]{1 - 3 \left(\frac{0,8}{2}\right)^4} = 0,99$$

Определим значения максимальной скорости V_x и избыточной температуры Δt_x в месте внедрения струи в обслуживаемую зону по формулам (3.12) и (3.13) соответственно:

$$v_x = \frac{2,2 \cdot 0,17 \sqrt{0,72}}{2} \cdot 1,01 \cdot 1 \cdot 0,99 = 0,16 \text{ м/с.}$$

$$\Delta t_x = \frac{1,9 \cdot 3 \sqrt{0,72}}{2} \cdot \frac{1}{1,01 \cdot 0,99} = 2,43 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Полученные результаты удовлетворяют нормируемым значениям.

Моделирования рассмотренного объекта

За исходные данные были выбраны те же значения и параметры комнаты и воздухораспределителя, что и в расчётах выше. Расчёт был выполнен в программе Flow Simulation. Распределение скоростей по комнате согласно программе приведено ниже

					08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		48

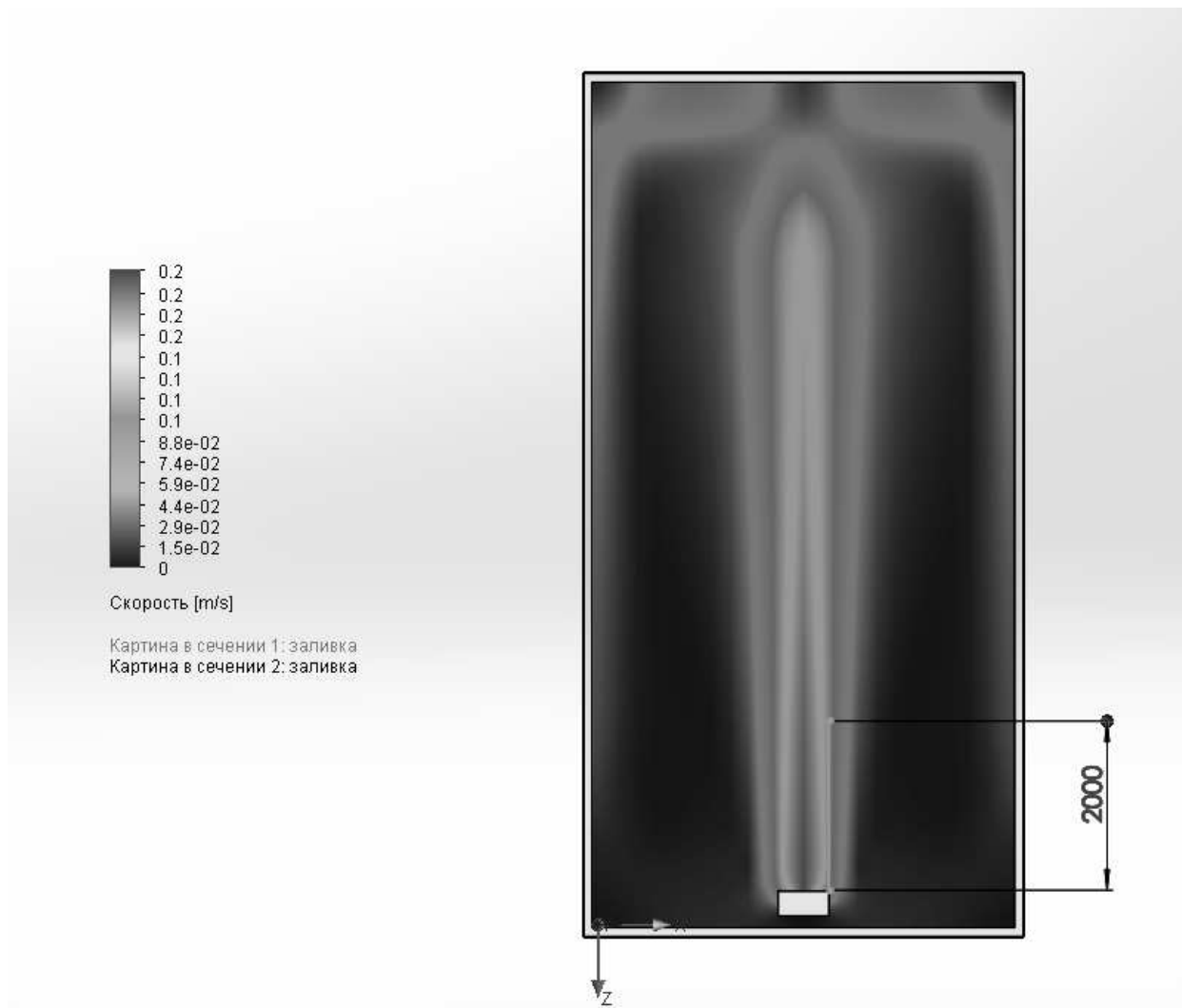


Рисунок 4.10 – Распределение скоростей по комнате при подаче воздуха в рабочую зону



Рисунок 4.11 – Распределение скоростей по вдоль комнаты при подаче воздуха в рабочую зону

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР

Лист

49

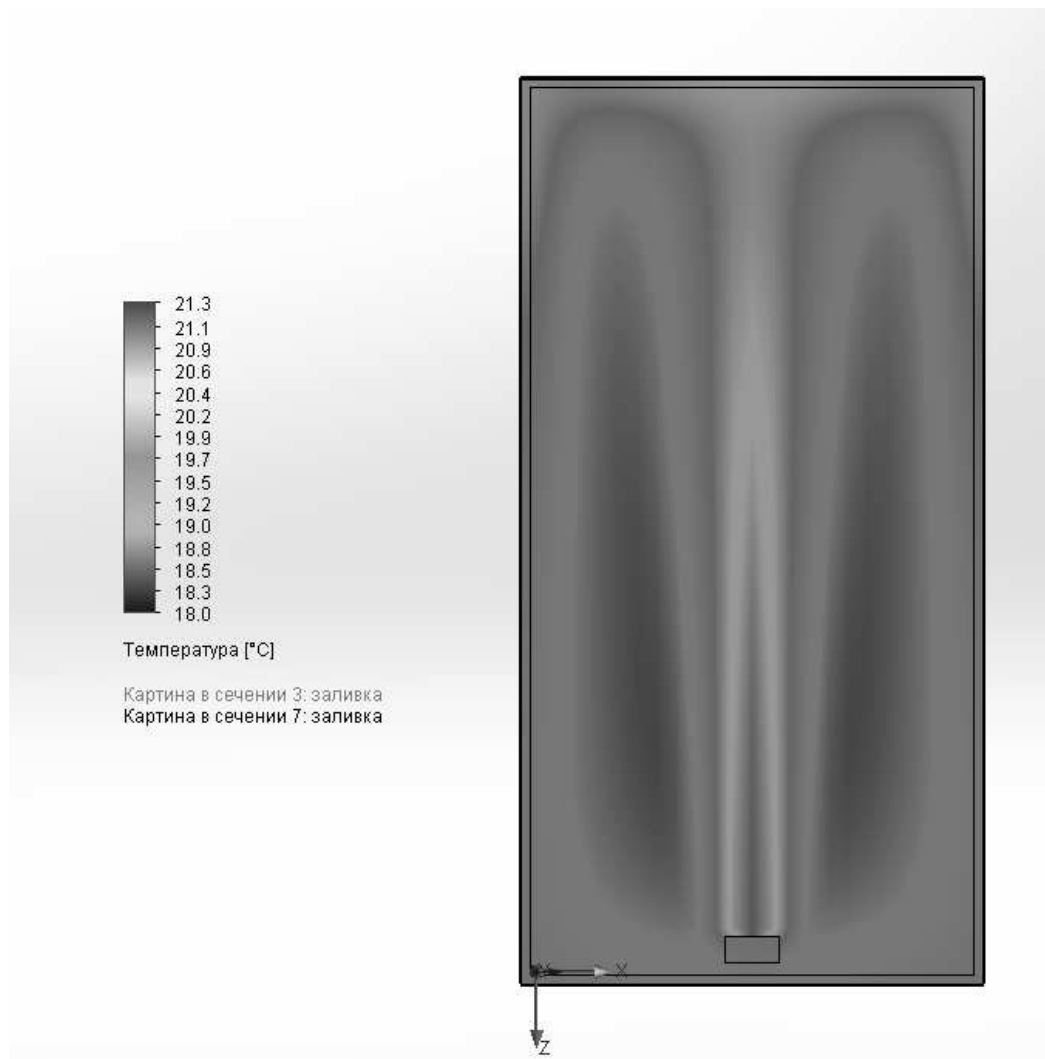
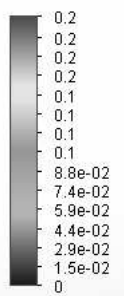


Рисунок 4.12 – Распределение температуры воздушной струи в помещении.



Рисунок 4.13 – Распределение температуры воздушной струи в помещении.



Скорость [m/s]

Картина в сечении 1: заливка
 Картина в сечении 2: заливка
 Картина в сечении 4: заливка
 Картина в сечении 5: заливка
 Картина в сечении 6: заливка

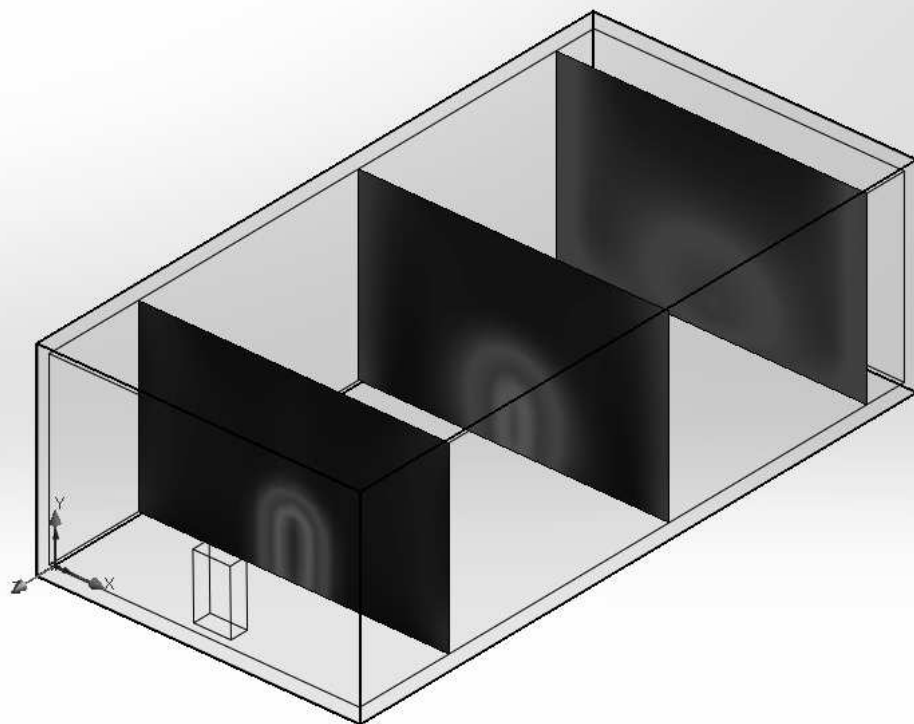


Рисунок 4.14 – Распределение скоростей в по в сечениях комнаты на различном расстоянии от воздухораспределителя.

Выполнив компьютерное моделирование воздушного потока в комнате с заданными геометрическими параметрами и расходом воздуха, получили следующие результаты:

Скорость воздуха в рабочей зоне получилась равной 0,18 м/с.

$$V_x = 0,18 \text{ м/с}$$

Значение избыточной температуры в месте внедрения приточной струи в обслуживаемую зону получилось равным 2,1 °С.

$$\Delta t_x = 2,1 \text{ °С}$$

Для наглядности выполненной работы сведём результаты расчётов в одну таблицу как сделали это в расчёте приточной струи при подаче «сверху-вниз», и сделаем выводы по проделанной работе. Таблица с результатами приводится ниже которая приводится ниже.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Таблица 4.2 - Результаты расчёта параметров воздушной струи при подаче приточного воздуха в рабочую зону.

Параметры воздушной струи	Методика расчёта		
	Нормативная литература СП 60.13330.2016	Справочная литература (Справочник проектировщика)	Компьютерное моделирование с помощью Flow Simulation
Расчётная длина струи от ВР до рабочей зоны, X , м	2	2	2
Скорость воздушного потока на входе в рабочую зону, V_x , м/с	0,16	0,16	0,18
Избыточная температура при входе воздушного потока в рабочую зону, Δt_x , °С	2,42	2,43	2,1

Параметры приточной струи при подаче воздуха в рабочую зону низкоскоростными потоками при расчёте по нормативной и справочной методике в этот раз получились практически идентичными и приближенными к реальным значениям, которые были получены в ходе моделирования воздушных потоков. Параметры скорости воздушного потока на входе в рабочую зону и избыточная температура не превышают нормативных значений.

5 АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕННИСНОГО КОРТА

5.1 Расчёт приточной струи по методике из справочной литературы

В прошлой главе выяснили, что обе методики расчёта приточных струй, дают приближенные к реальным значения параметров воздуха в рабочей зоне и поэтому выбрав справочную методику выполним расчёт на реальном объекте теннисных кортов.

Теннисный корт имеет следующие геометрические размеры 190 м в длину, 39 м в ширину и 15 метров в высоту. Кровля рассматриваемого здания имеет, необычный архитектурно-планировочное решение в виде полукруга вдоль всего здания.

В качестве воздухораспределительных устройств приняты приточные решетки ZRE 400 размерами 950x2000x480 (ШxВxГ)

Температура внутреннего воздуха принимается равной 18 °С. Температура приточного на выходе из приточных решеток 22 °С. Расход воздуха в помещении принят на основании расчёта и равняется 40000 м³/ч. В помещении установлено 20 приточных решеток каждая из них обеспечивает подачу 2000 м³/ч.

Раздача воздуха реализована по схеме «снизу-вверх» подачей воздуха в рабочую зону низкоскоростными струями.

В качестве примера расчёт будет приведён для одного приточного воздухораспределителя, так как расчёт для других будет выполняться аналогичным образом.

Так как воздух будет подаваться горизонтальными ненастилающимися струями в рабочую зону, то расчётная длина струи до рассчитываемого сечения по направлению движения струи будет равна расстоянию от воздухораспределителя до точки входа струи в рабочую зону:

$$x = 5,4 \text{ м}$$

Геометрическую характеристику H рассчитаем по формуле (3.1):

						08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			53

$$H = 5,45 \cdot 2,2 \cdot 0,29 \frac{\sqrt[4]{1,9}}{\sqrt{1,9 \cdot 4}} = 1,5 \text{ м}$$

Скорость движения воздуха, отнесённая к расчётной площади воздухораспределителя определяется:

$$v_0 = \frac{L}{F_0 \cdot 3600} = \frac{2000}{1,9 \cdot 3600} = 0,29 \text{ м/с}$$

Избыточную температуру воздуха на истечении приточной струи из ВР, °С, рассчитаем по формуле (3.3):

$$\Delta t_0 = |22 - 18| = 4^\circ\text{C}$$

Коэффициент стеснения K_{con} определим по формуле (3.16):

$$K_{con} = 1 + \frac{0,9 \cdot 2000}{2,2 \cdot 2000} \cdot \frac{5,4}{\sqrt{192,9}} \cdot \sqrt{\frac{1,9}{192,9}} = 1,02$$

Значения коэффициента взаимодействия K_{in} зависят от расстояния между струями, принимаются по таблице Б1, приложения Б.

$$K_{in} = 1$$

Величина K_n определяется по формуле (3.21):

$$K_n = \sqrt[2]{1 - \left(\frac{1,5}{5,4}\right)^4} = 0,99$$

Определим значения максимальной скорости V_x и избыточной температуры Δt_x в месте внедрения струи в обслуживаемую зону по формулам (3.12) и (3.13) соответственно:

$$v_x = \frac{2,2 \cdot 0,29 \sqrt{1,9}}{5,4} 1,02 \cdot 1 \cdot 0,99 = 0,17 \text{ м/с.}$$

$$\Delta t_x = \frac{1,9 \cdot 4 \sqrt{1,9}}{5,4} \cdot \frac{1}{1,02 \cdot 0,99} = 1,92 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Для оценки корректности полученных результатов построим 3-D модель рассматриваемого помещения и выполним моделирование воздушных потоков в программе Flow Simulation.

5.2 Основные принципы работы программы Flow Simulation.

SolidWorks (далее SW) – программный комплекс САПР для автоматизации работ промышленного предприятия на этапах конструкторской и технологической подготовки производства. Обеспечивает разработку изделий любой степени сложности и назначения. SW является ядром интегрированного комплекса автоматизации предприятия, с помощью которого осуществляется поддержка жизненного цикла изделия в соответствии с концепцией CALS-технологий, включая двунаправленный обмен данными с другими Windows-приложениями и создание интерактивной документации. Это легкое в освоении средство позволяет инженерам-проектировщикам быстро отображать свои идеи в эскизе, экспериментировать с элементами и размерами, а также создавать модели и подробные чертежи. Комплексные решения SW базируются на передовых технологиях гибридного параметрического моделирования и широком спектре специализированных модулей.

В состав SW, входит модуль Flow Simulation, предназначенный для моделирования течения жидкостей и газов. Позволяет учесть широкий круг физических процессов: сжимаемость, турбулентность и пр.

Программный комплекс Flow Simulation предназначен для моделирования трехмерных течений жидкости и газа в технических и природных объектах, а также визуализации этих течений методами компьютерной графики.

Моделируемые течения включают в себя стационарные и нестационарные, сжимаемые, слабосжимаемые и несжимаемые потоки жидкости и газа.

Использование различных моделей турбулентности и адаптивной расчетной сетки позволяет моделировать сложные движения жидкости, включая течения с сильной закруткой, горением, течения со свободной поверхностью.

Flow Simulation основан на конечно-объемном методе решения уравнений гидродинамики и использует прямоугольную адаптивную сетку с локальным измельчением. Для аппроксимации криволинейной геометрии с повышенной точностью Flow Simulation использует технологию подсеточного разрешения геометрии. Эта технология позволяет импортировать геометрию из систем САПР и обмениваться информацией с системами конечно-элементного анализа.

					08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		55

Использование этой технологии позволило решить проблему автоматической генерации сетки – чтобы сгенерировать сетку, достаточно задать всего лишь несколько параметров, после чего сетка автоматически генерируется для расчетной области, имеющей геометрию любой степени сложности.

Flow Simulation поддерживает широкий набор расчетных моделей.

К базовым моделям относятся моделирование движения однородной жидкости (газа) при различных скоростях с учетом эффектов сжимаемости, турбулентности и теплопереноса:

– твердый материал. Моделирование теплопереноса и диффузионных процессов в твердом теле;

– ламинарная жидкость. Моделирование течений газа (жидкости) при малых и умеренных числах Рейнольдса при небольших изменениях плотности (приближение Буссинеска);

– несжимаемая жидкость. Моделирование течений газа (жидкости) при больших (турбулентных) числах Рейнольдса и при малых изменениях плотности;

– слабо сжимаемая жидкость. Моделирование течений газа при дозвуковых числах Маха и любых изменениях плотности;

– полностью сжимаемая жидкость. Моделирование течений газа при любых числах Маха (до-, транс-, сверх- и гиперзвуковые течения).

Имеются специальные модели для моделирования движения жидкости (газа) при учете дополнительных физико-химических эффектов, характерных для специальных приложений:

– пористая среда, моделирование течения газа при дозвуковых числах Маха и любых изменениях плотности с учетом пористости среды,

– горение, моделирование процессов сжигания различных газовых смесей и определение выбросов оксидов азота,

– свободная поверхность, моделирование двухфазных течений со свободной поверхностью,

К дополнительным моделям относятся:

– радиационный теплоперенос, моделирование количества тепла, переданного от одного тела к другому за счет излучения.

					08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		56

- зазора, то есть моделирование сопротивления, создаваемого узким каналом.
- частицы, моделирование двухфазных течений с твёрдыми или жидкими частицами.

При выборе расчетной модели, определяется класс решаемых задач и, доступный для этого класса, полный перечень физических процессов. С учетом специфики решаемой задачи, из модели можно исключить не интересующие или добавить в нее недостающие физические процессы. Таким образом, формируется необходимый для его задачи список физических процессов.

Flow Simulation имеет собственный геометрический процессора, и используется геометрическая модель, созданная в CAD системе. (SolidWorks 2018) приведено на рисунках ниже.

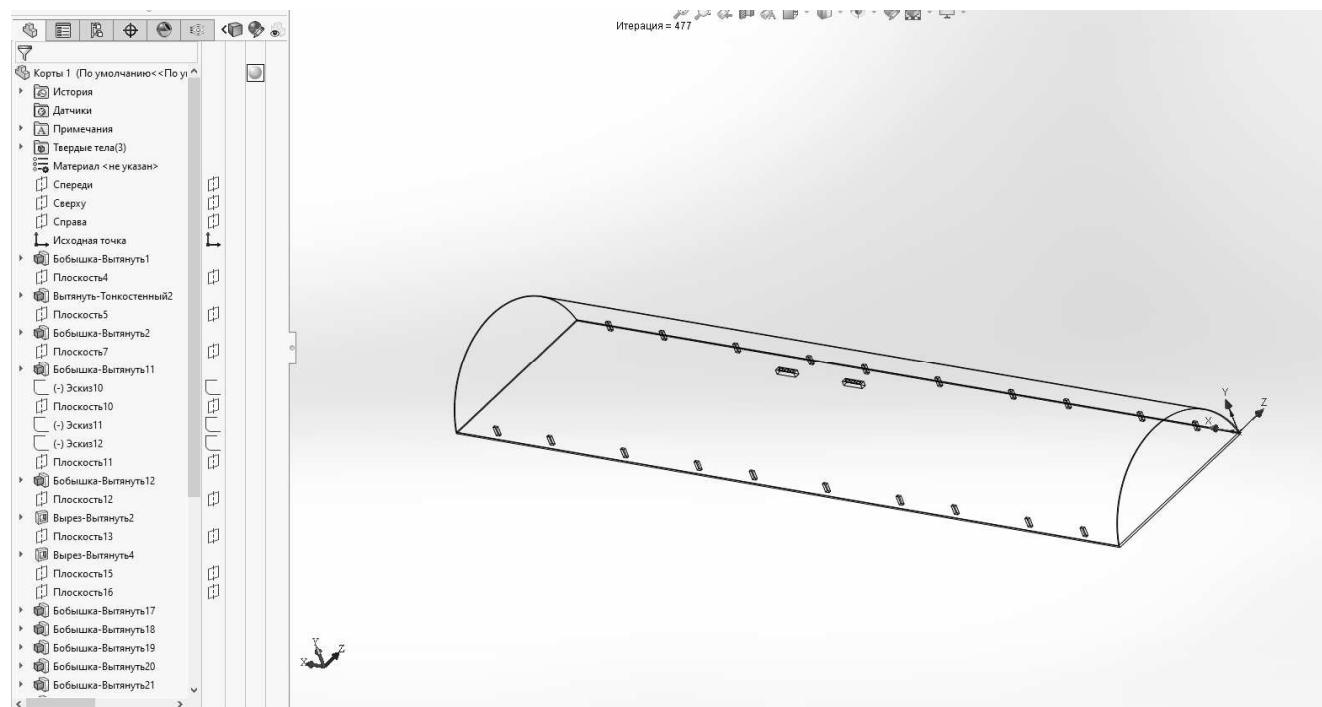


Рисунок 5.1 – подготовка геометрической модели в SolidWorks 2018

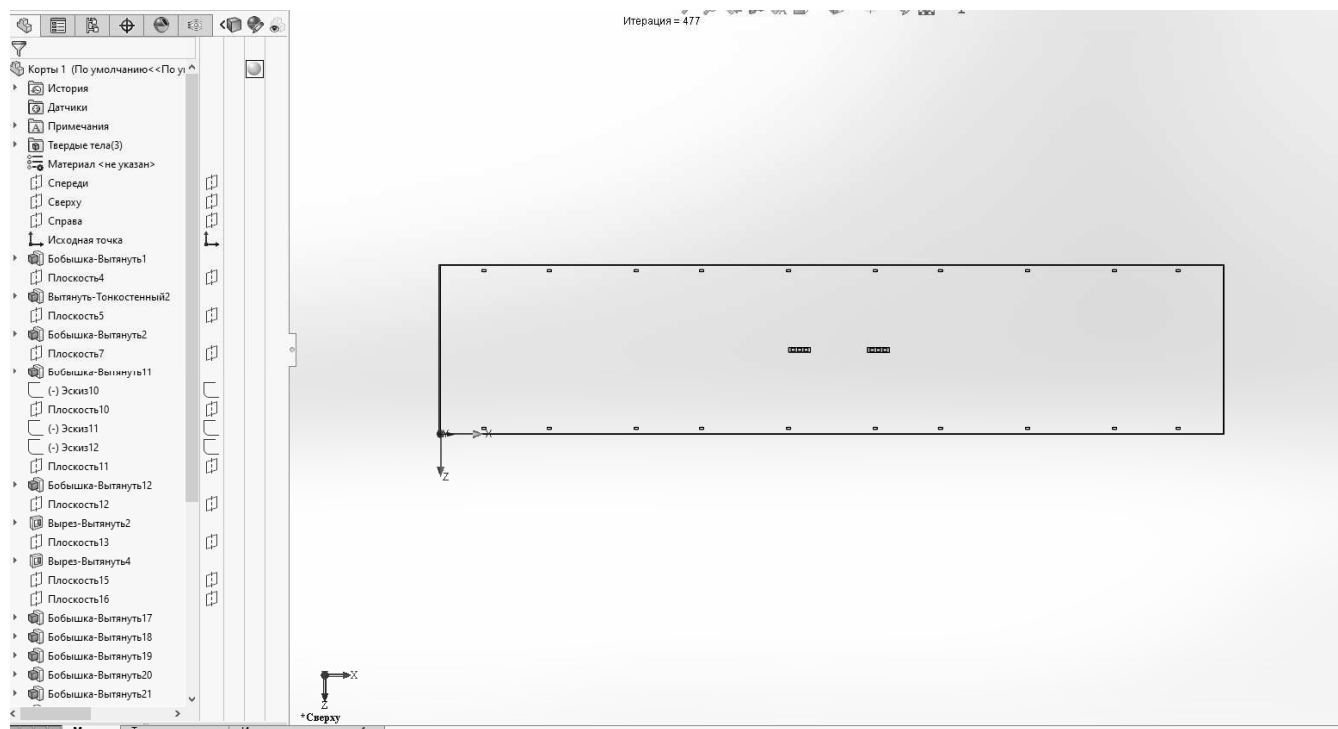


Рисунок 5.2 – Подготовка геометрической модели в SolidWorks 2018

Расчет течения воздушных потоков в рассматриваемом помещении относится к задачам внутреннего течения, поэтому, если не требуется расчет теплообмена между наружными ограждающими конструкциями и рассматриваемой средой, то, в Flow Simulation достаточно импортировать геометрию рассматриваемой части, то есть объем, ограниченный стенами здания.

Следующий этап подготовки геометрии обусловлен спецификой решения задачи и состоит в разделении расчетных областей вытяжных устройств и приточных. В результате получается модель с расчетными областями проточной части, и вытяжной части моделируемого помещения

После построения геометрической модели рассматриваемого помещения, используя опции дерева препроцессора (рисунок 5.3), производится определение расчетных областей, которые в ходе анализа геометрии выявила программа. Для этого, выделяя каждую область с помощью мыши окне препроцессора и наблюдая за активизацией в графическом окне соответствующей ей геометрической области, пользователь выполняет определение расчетных областей. Первая область, в нашем случае, с названием «Вытяжные диффузоры», соответствует воздухораспределителям через которые будет происходить удаления воздуха из рассматриваемого помещения. Вторая, с названием

«Приточные диффузоры», – воздухораспределителям, через которые осуществляется приток свежего воздуха.

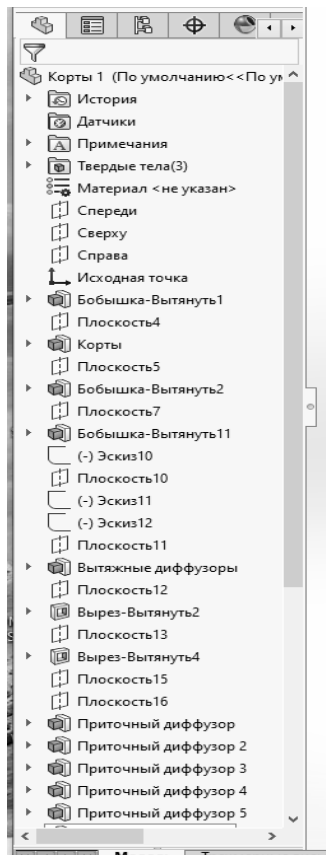


Рисунок 5.3 – Дерево препроцессора

После определения расчетных областей производится постановка задачи, которая состоит из нескольких этапов.

Задание начальных условий для проведения измерений. В начале задаются системы единиц измерения с помощью мастера проекта (рисунок 5.4)

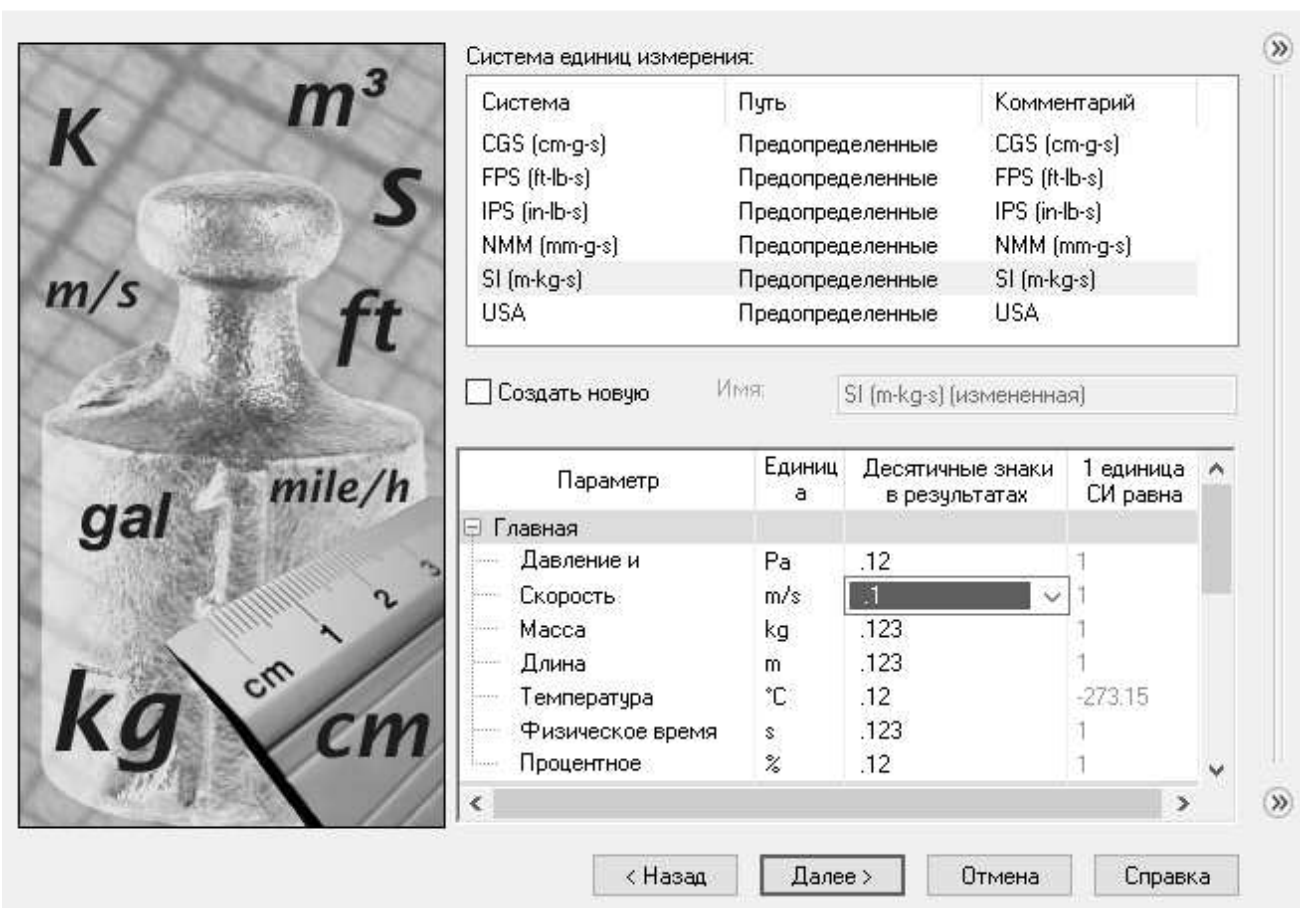


Рисунок 5.4 – Задание единиц измерения

После выбирается тип рассматриваемой задачи (рисунок 5.5). Выбираем для моделирования в нашем случае теплопроводность в твердых телах.

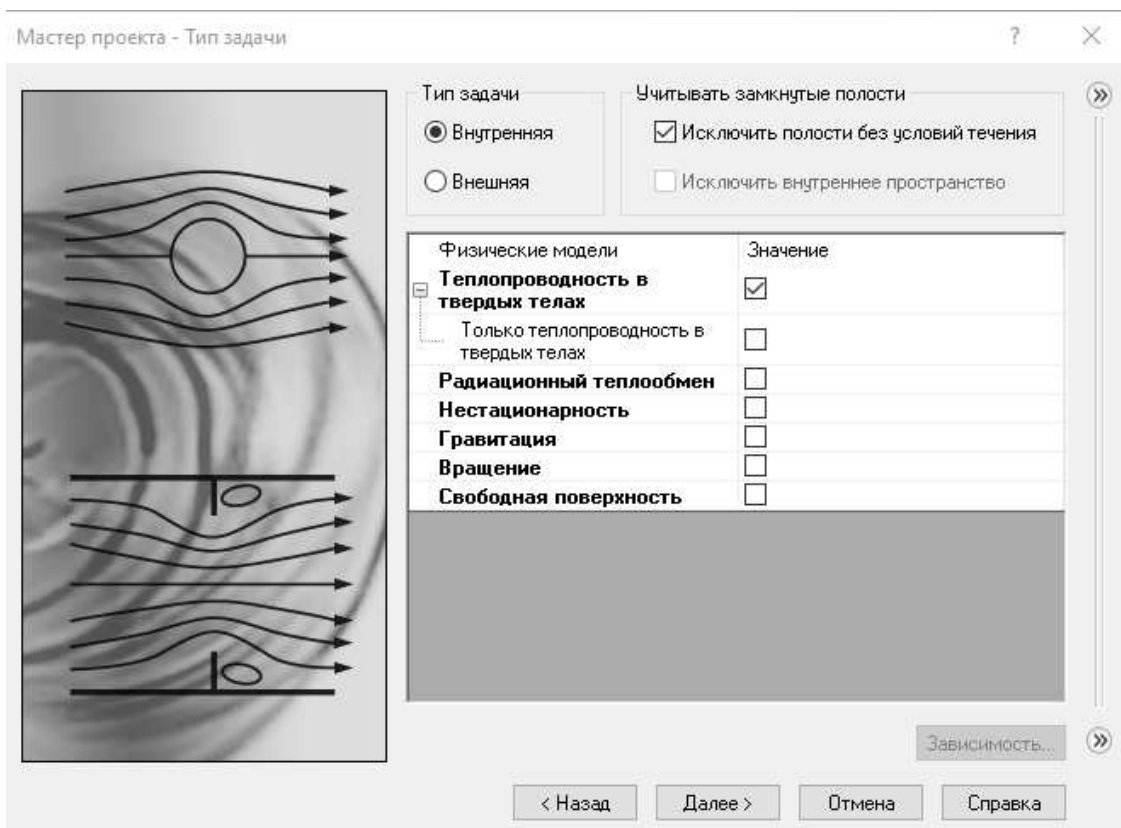


Рисунок 5.5 – Выбор типа рассматриваемой задачи

После выбора типа задачи производится выбор рассматриваемой среды, которая будет участвовать в расчётах. В нашем случае это текущие среды – воздух.

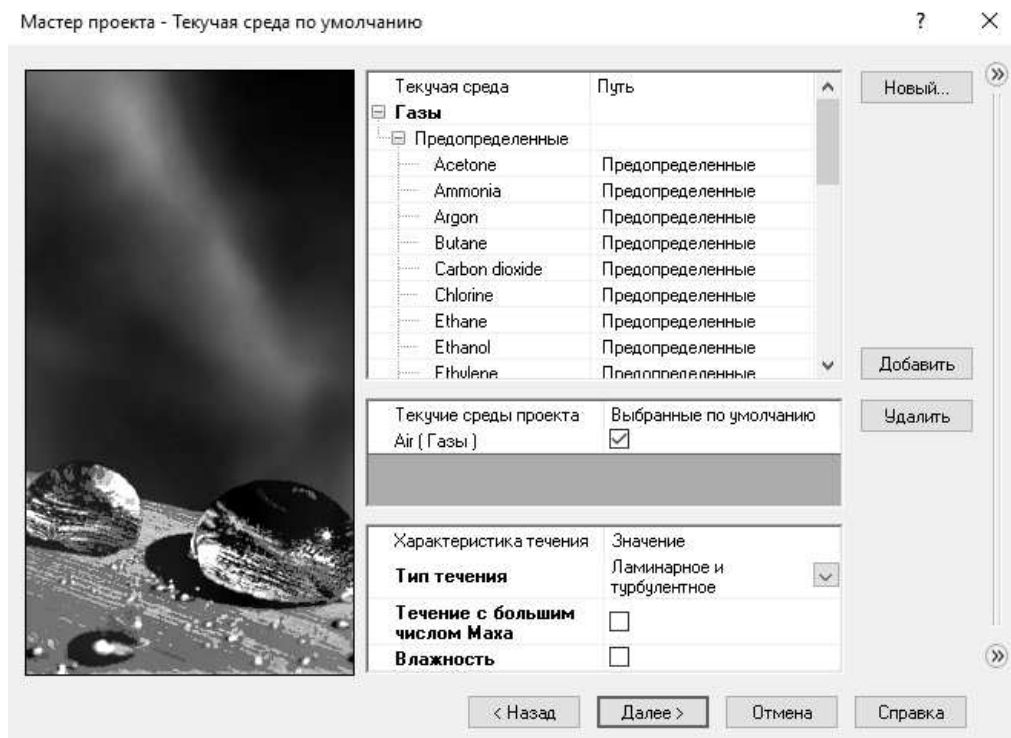


Рисунок 5.6 – Выбор рассматриваемой среды.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Далее выбирается материал, из которого выполнено здание, в котором будет рассматриваться распределение воздушных потоков и задаются условия на стенках рассматриваемой модели.

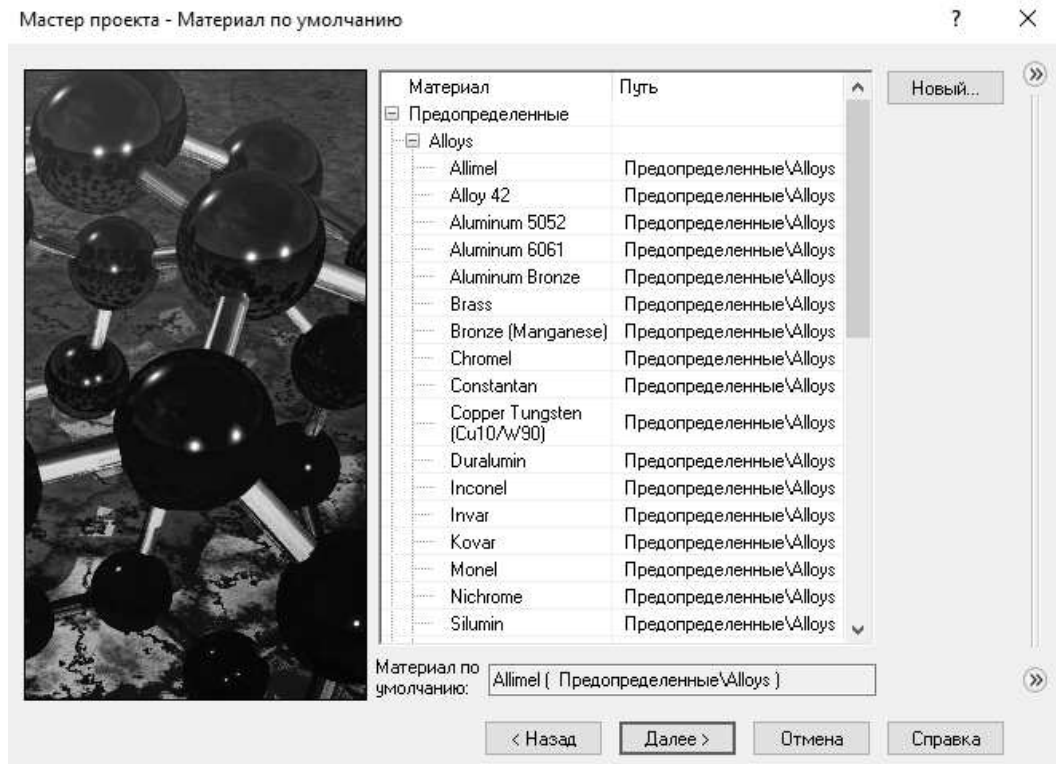


Рисунок 5.7 – Выбор материала из для наружных ограждающих конструкций.

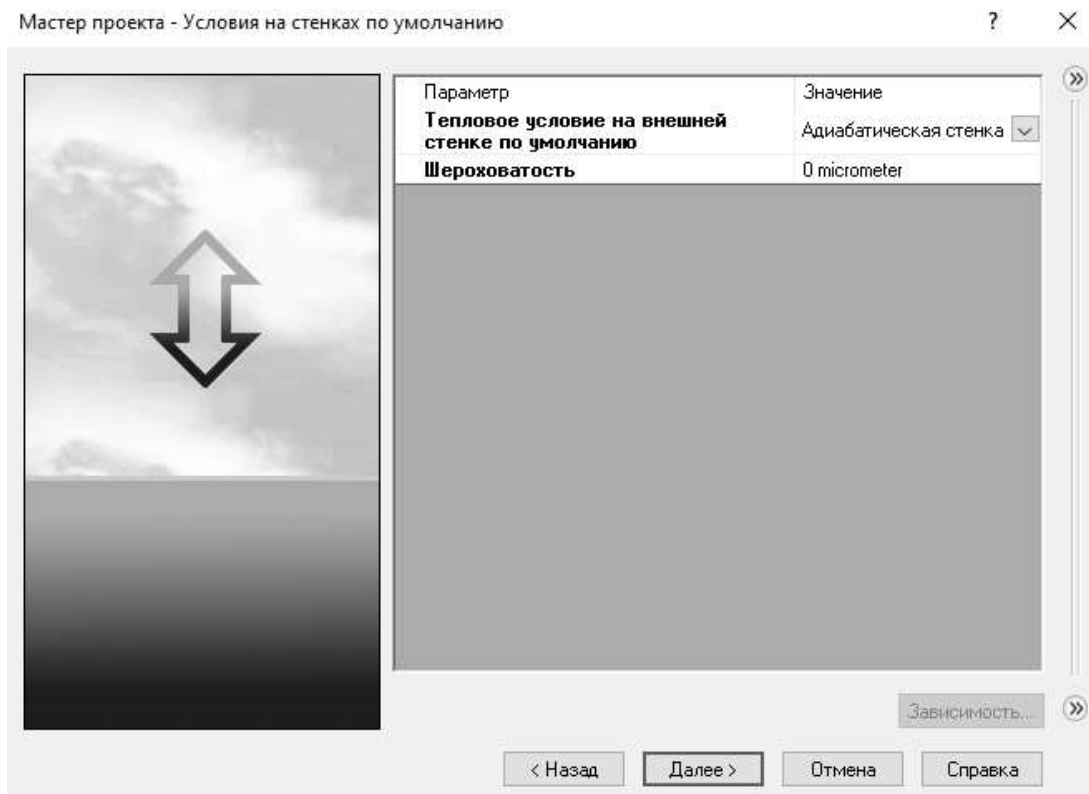


Рисунок 5.8 – Условия на стенках выбранной модели.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

И в конце выбираются начальные условия для проведения моделирования.

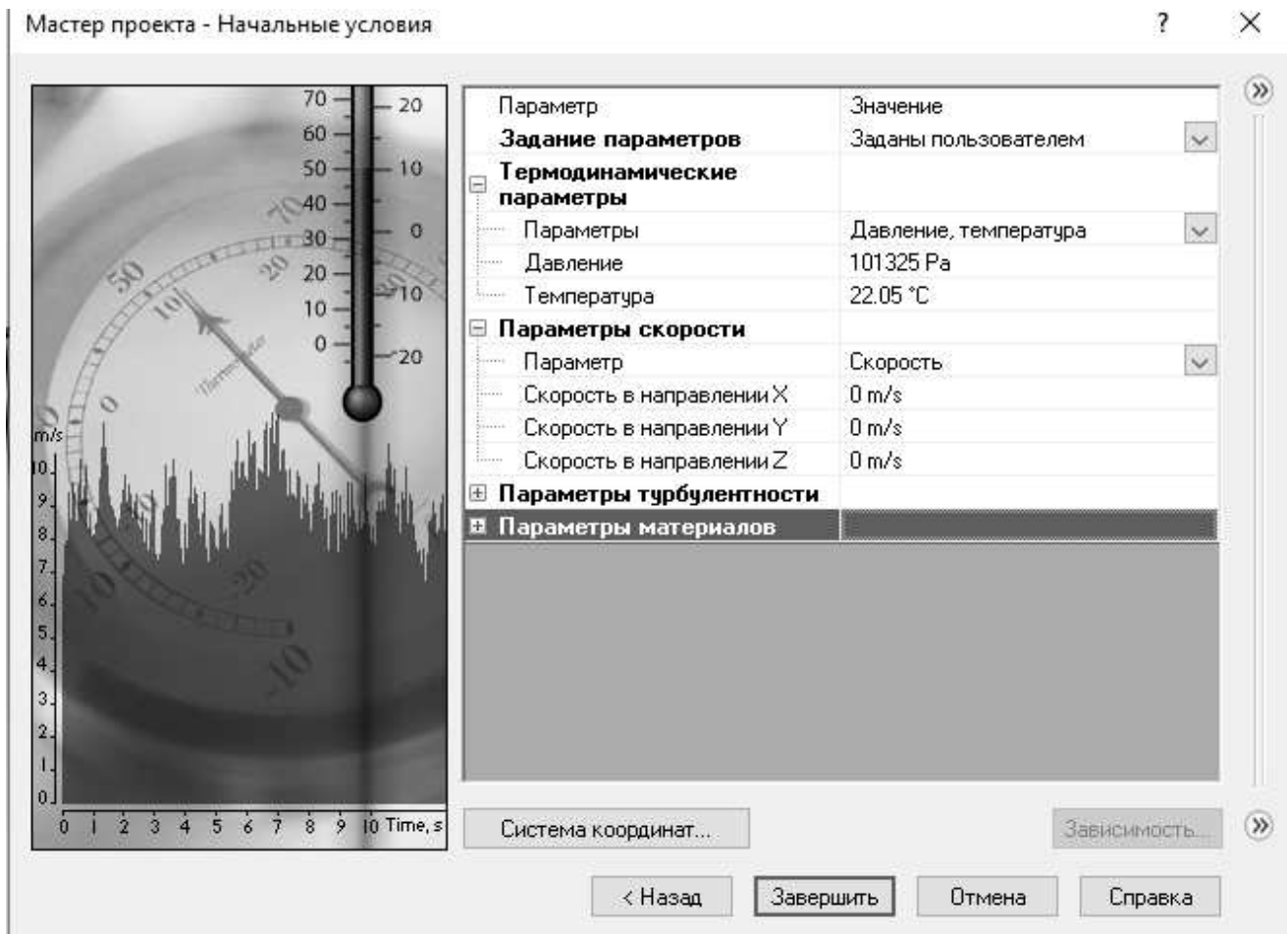


Рисунок 5.9 – Начальные условия для моделирования.

После задания всех начальных условий с помощью «Мастера проекта» нужно задать граничные условия для рассматриваемой модели. В качестве граничных условия для рассмотрения распределения воздушных потоков внутри здания необходимо задать подобласть течения, в качестве которого выбирается внутренний объём помещения, в котором происходит процесс распределения воздушных масс, указать плоскости приточных и вытяжных воздухораспределительных устройств, а так же обозначить количество и температуру воздуха проходящих через них.

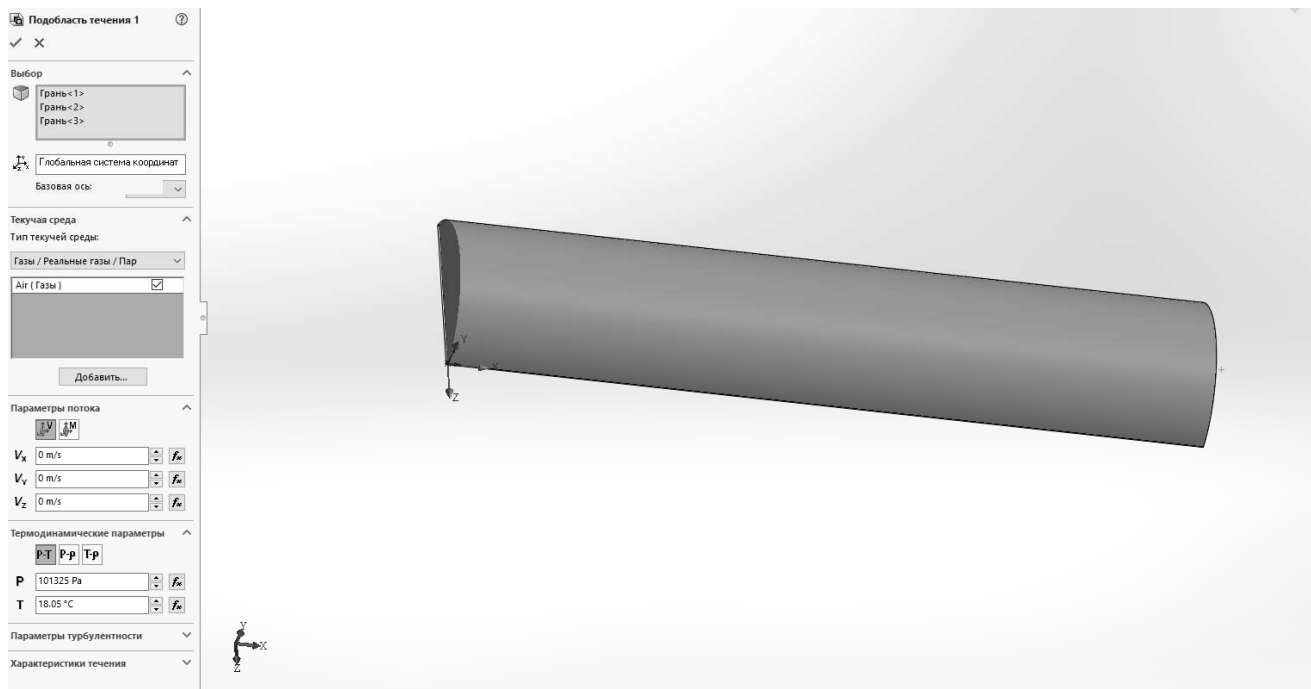


Рисунок 5.9 – Задание подобласти течения, в которой происходит рассматриваемый процесс.

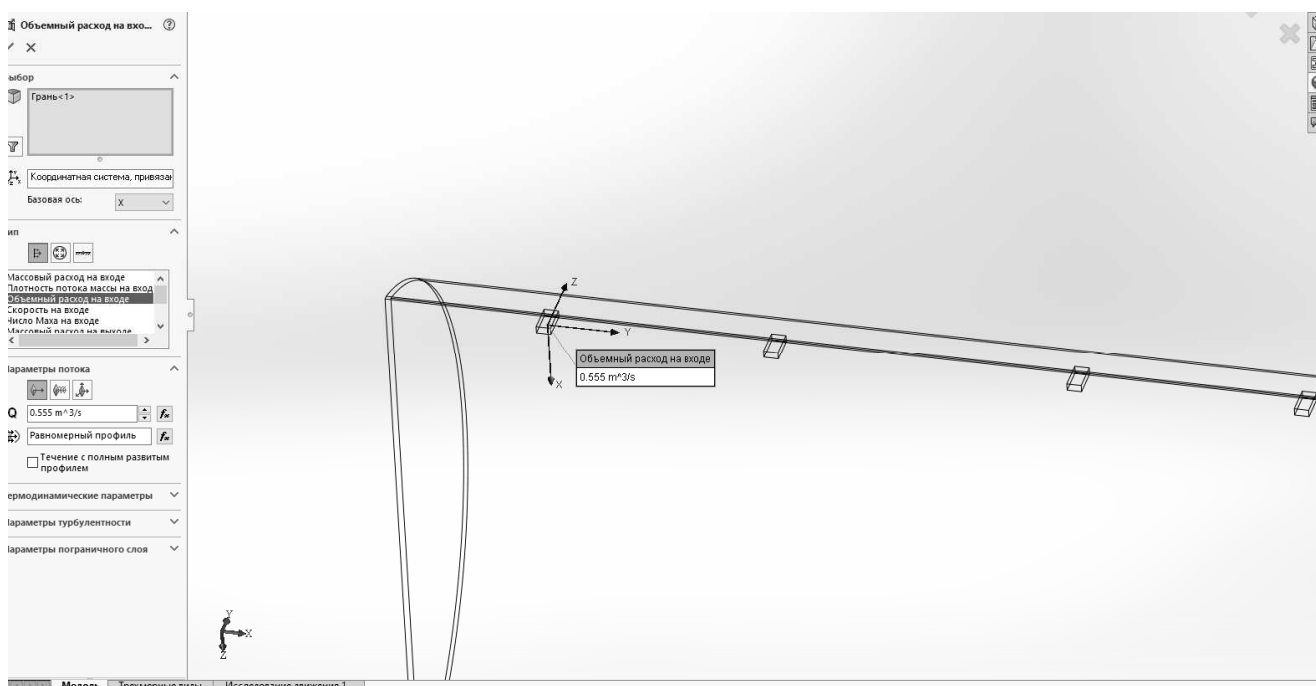


Рисунок 5.10 – Задание параметров приточного воздухораспределителя.

После выбора вышеперечисленных параметров выбирается размер расчётной сетки для проведения расчётов

После выполнения расчёта программой, возможно выгрузить результаты для анализа получившейся модели. Возможно обширный выбор результатов, для рассмотрения модели в любой интересующей точке.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

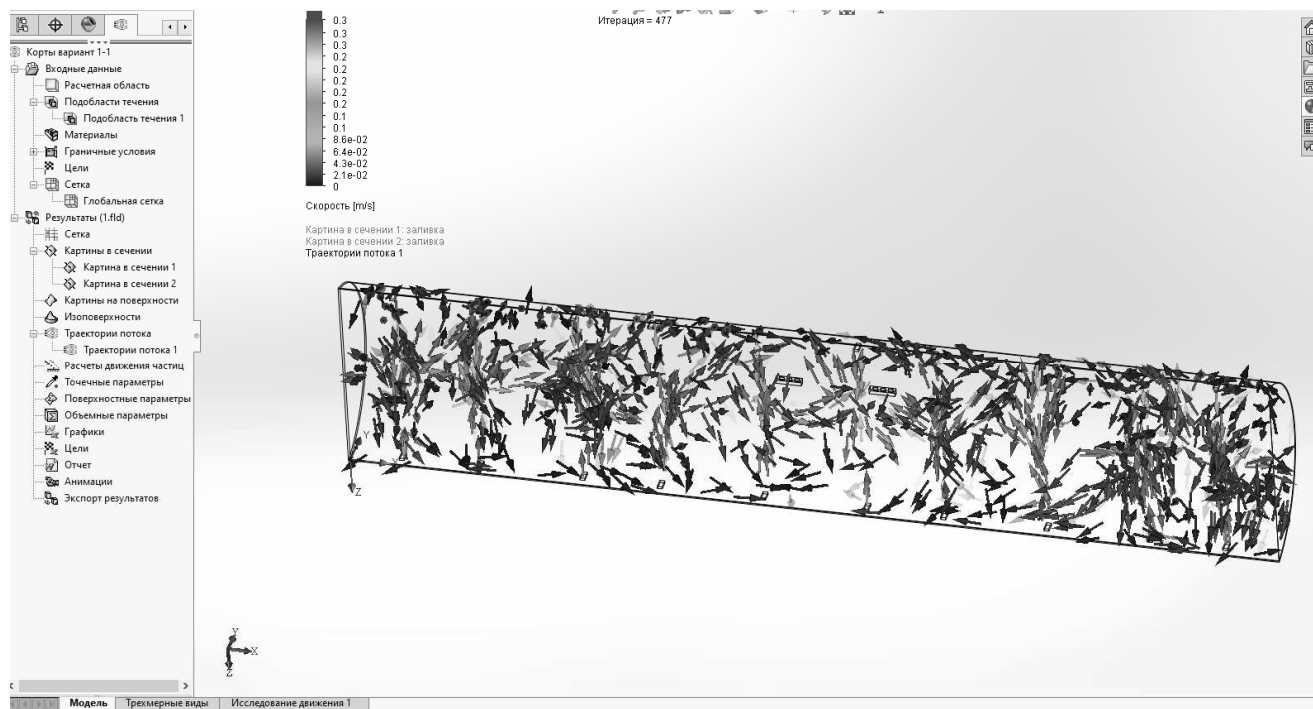


Рисунок 5.11 – Выбор интересующего результата моделирования, рассматриваемой модели.

5.3 Анализ системы воздухораспределения здания теннисный корт с помощью программы Flow Simulation.

В качестве объекта моделирования системы воздухораспределения был выбран теннисный корт размерами 190 м в длину, 39 м в ширину и 15 метров в высоту. Кровля рассматриваемого здания имеет, необычный архитектурно-планировочное решение в виде полукруга вдоль всего здания.

В качестве воздухораспределительных устройств приняты приточные решетки ZRE 400 размерами 950x2000x480 (ШxВxГ), в качестве воздухоприемных устройств используются решетки 900x700. Раздача воздуха происходит внизу помещения по вдоль всех теннисных кортов. Вытяжные устройства расположены по центру здания у потолка на высоте 12.7 м от уровня пола.

Температура внутреннего воздуха принимается равной 18 °С. Температура приточного на выходе из приточных решеток 22 °С. Расход воздуха в помещении принят на основании расчёта и равняется 40000 м³/ч. В

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

помещении установлено 20 приточных решеток каждая из них обеспечивает подачу 2000 м³/ч.

Раздача воздуха реализована по схеме «снизу-вверх» подачей воздуха в рабочую зону низкоскоростными струями.

Задав все параметры согласно методике описывающей принципы работы программы получили следующие результаты распределения воздушных потоков в рассматриваемом здании теннисных кортов.

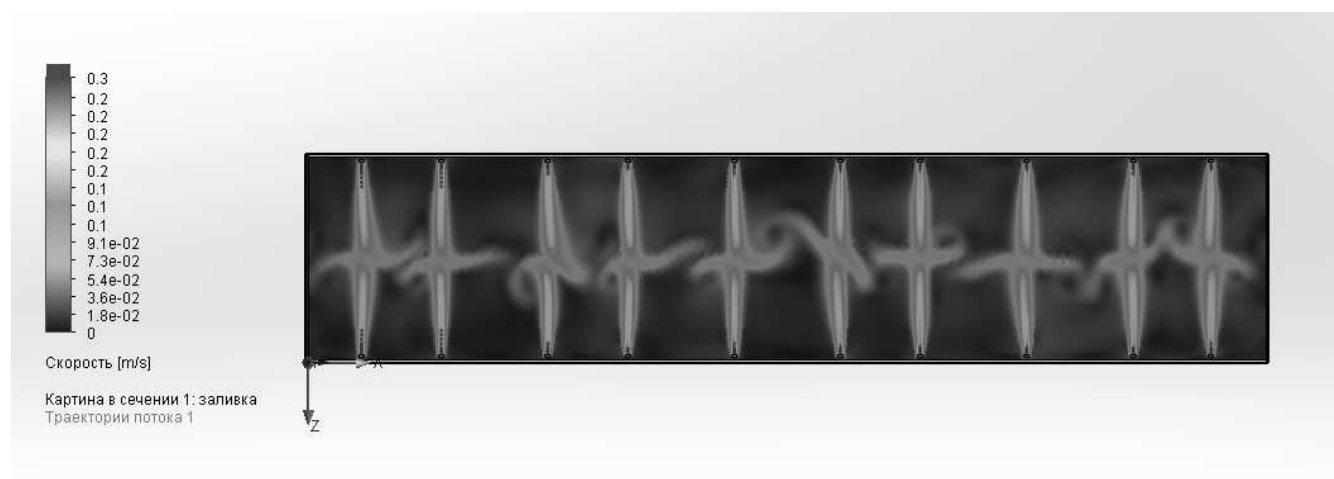
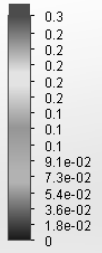


Рисунок 5.12 – Распределение скоростей воздушных потоков в рабочей зоне.



Рисунок 5.13 – Распределение скоростей воздушных потоков в центре помещения по высоте.



Скорость [m/s]

Картина в сечении 1: заливка
Картина в сечении 2: заливка
Картина в сечении 3: заливка
Траектории потока 1

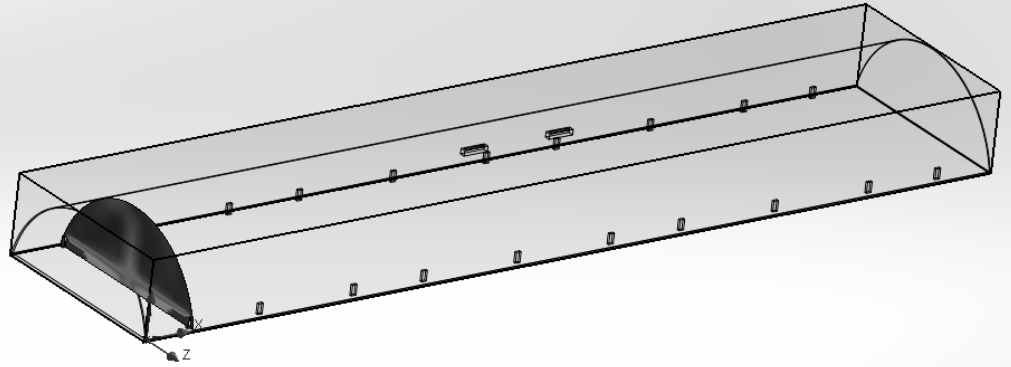
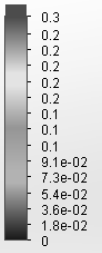


Рисунок 5.14 – Распределение скоростей воздушных потоков по сечению.



Скорость [m/s]

Картина в сечении 1: заливка
Картина в сечении 2: заливка
Картина в сечении 3: заливка
Траектории потока 1

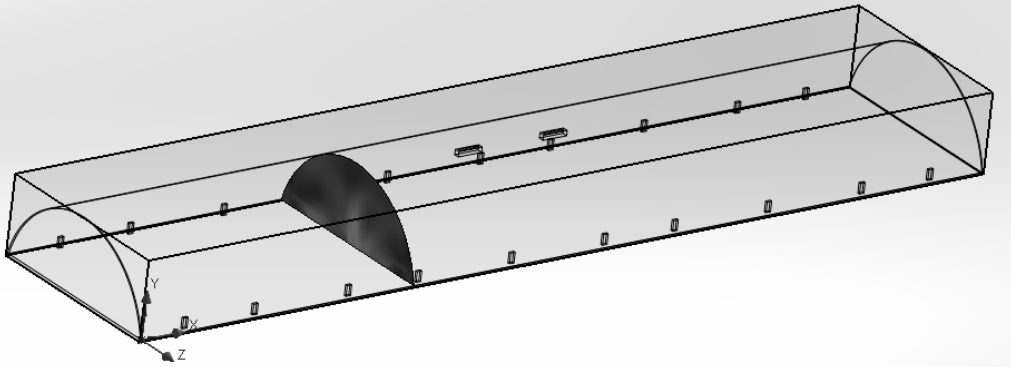


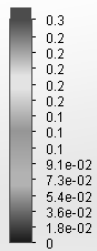
Рисунок 5.15 – Распределение скоростей воздушных потоков по сечению.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР

Лист

67



Скорость [m/s]

Картина в сечении 1: заливка
Картина в сечении 2: заливка
Картина в сечении 3: заливка
Траектории потока 1

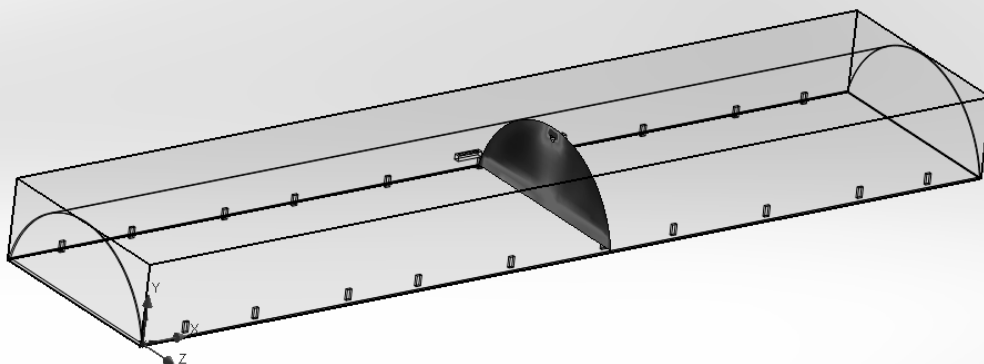
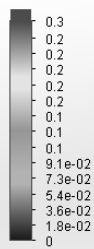


Рисунок 5.16 – Распределение скоростей воздушных потоков по сечению.



Скорость [m/s]

Картина в сечении 1: заливка
Картина в сечении 2: заливка
Картина в сечении 3: заливка
Траектории потока 1

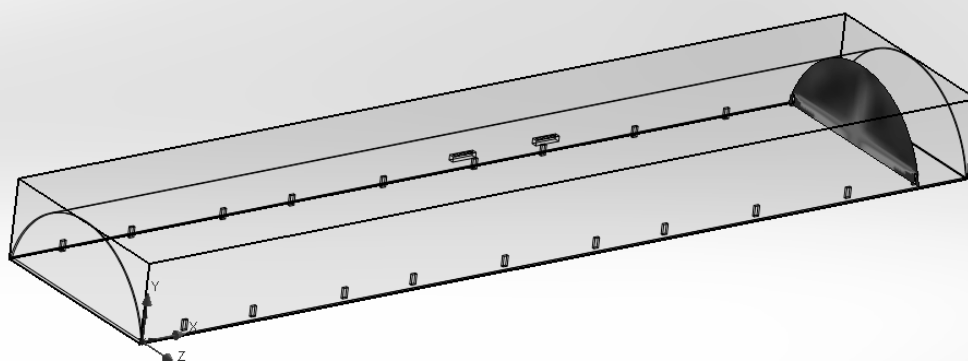
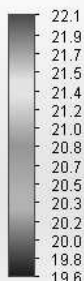
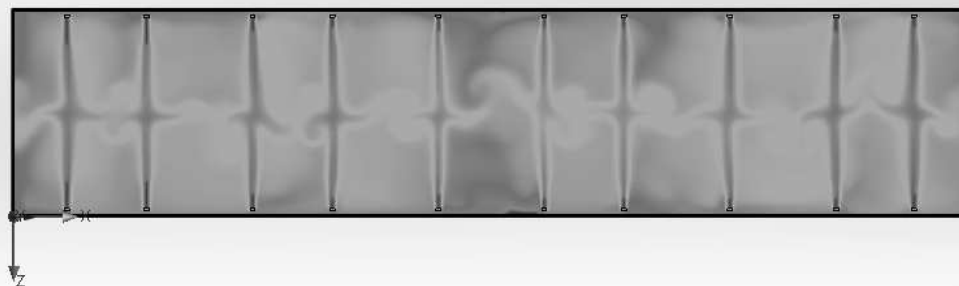


Рисунок 5.17 – Распределение скоростей воздушных потоков по сечению.



Температура [°C]

Картина в сечении 3: заливка



Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Рисунок 5.18 – Распределение температуры воздушных потоков в рабочей зоне.



Рисунок 5.19 – Распределение температуры воздушных потоков в центре помещения по высоте.

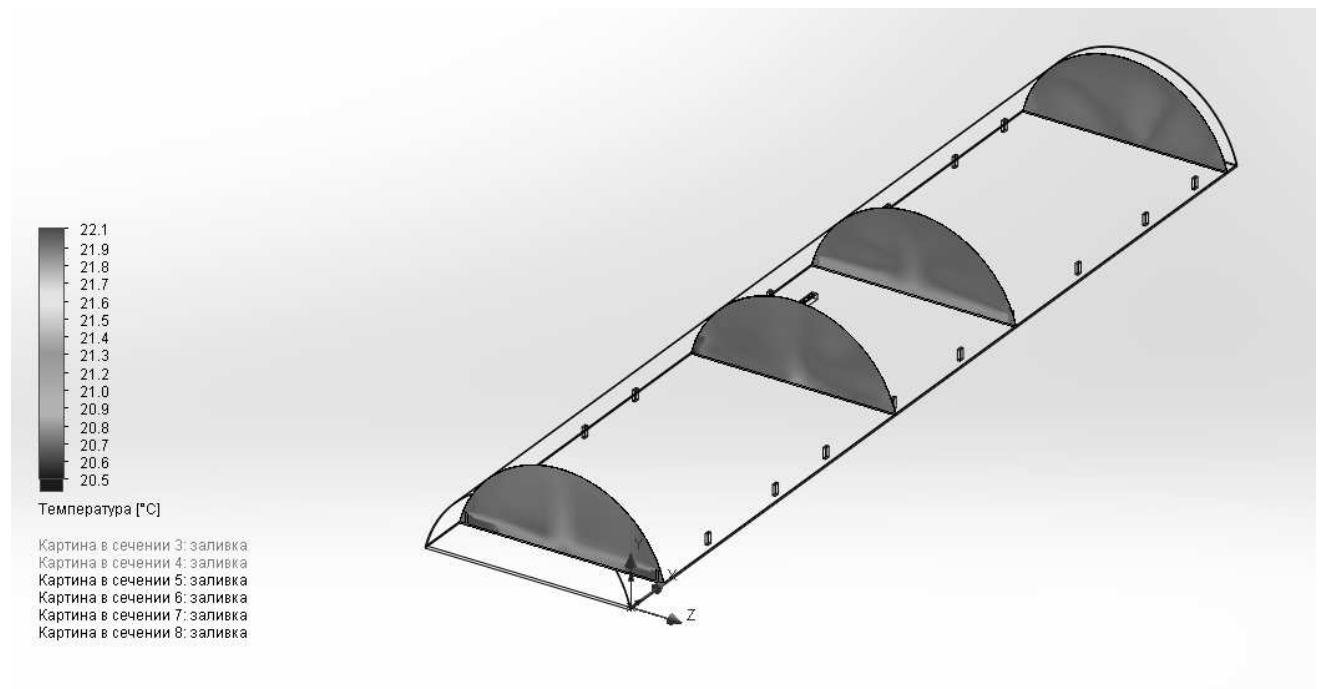


Рисунок 5.20 – Распределение температуры воздушных потоков по сечению вдоль всего здания.

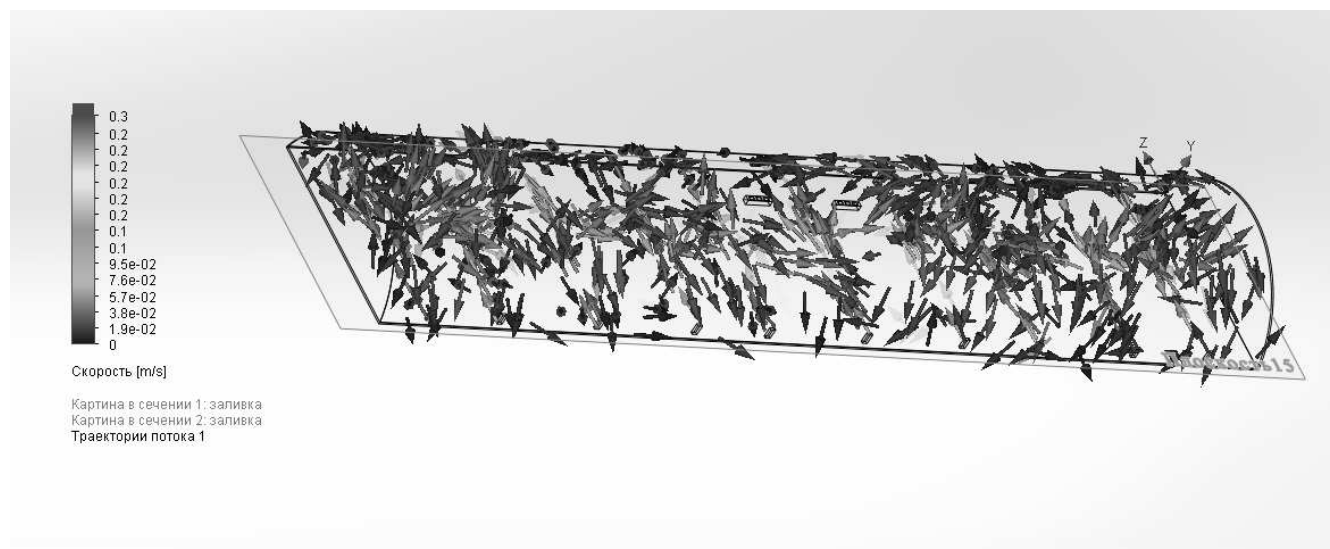


Рисунок 5.21 Траектории движения воздушных потоков .

На основе полученных результатов компьютерного моделирования воздушных потоков теннисного корта при выбранной схеме подачи и удаления воздуха можно сделать вывод, о столкновении воздушных потоков в центре рабочей и о скоростях внутри рабочих зон. Так же на основе моделирования получили значения максимальной скорости и избыточной температуре в рабочей зоне, где находятся спортсмены.

$$v_x = 0,2 \text{ м/с.}$$

$$\Delta t_x = 1,7 \text{ }^\circ\text{C} .$$

Результаты расчёта параметров приточной струи по стандартной методике:

$$v_x = 0,17 \text{ м/с.}$$

$$\Delta t_x = 1,92 \text{ }^\circ\text{C} .$$

Сравнив эти данные с результатами полученными, по классической методике воздухораспределения, делаем вывод, что результаты расчёта оказались приближенными к реальным значениям.

Для наглядности сведём результаты в таблицу 5.1

					08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		70

Таблица 5.1 – Результаты расчёта параметров приточной струи.

Параметры воздушной струи	Методика расчёта	
	Справочная литература (Справочник проектировщика)	Компьютерное моделирование с помощью Flow Simulation
Скорость воздушного потока на входе в рабочую зону, V_x , м/с	0,17	0,2
Избыточная температура при входе воздушного потока в рабочую зону, Δt_x , °С	1,92	1,7

Полученные значения максимальной скорости и избыточной температуре в рабочей зоне соответствуют нормативным значениям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы по анализу методик расчёта систем воздухораспределения современных зданий, был произведён анализ методик расчёта и выполнено сравнение результатов с результатами компьютерного моделирования, а также выявлены параметры, влияющие на результат расчёта по стандартной и справочной методике.

Было выполнено моделирование воздушных потоков в помещении теннисных кортов для анализа существующей схемы вентиляции и воздухораспределения и выявлено, что, не смотря на опасения, существующая схема обеспечивает нормативные параметры воздушного потока в помещении.

					08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		72

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99*.- М.: Изд-во стандартов, 2012.
2. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 1999. – 8 с.
3. СП 118.13330.2012* Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 31-06-2009 (с Изменениями N 1, 2). 2012.
4. СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляции и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. / Госстрой России. – М.: 2012.
5. Шепелев, И.А. Аэродинамика воздушных потоков в помещении [Текст]/И.А. Шепелев – М.: Стройиздат, 1978.–144 с.
6. Гримитлин, М.И. Распределение воздуха в помещениях [Текст]/М.И. Гримитлин–С-Пб: Издательство «АВОК Северо-Запад», 2004. 320 с.
7. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. Ч.3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 2/Б.В. Баркалов, Н.Н. Павлов, С.С. Амирджанов и др.; Под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1992 – 416 с.: ил. – (Справочник проектировщика).
8. ГОСТ 3262-75 Трубы стальные водогазопроводные. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3, 4, 5, 6) - М.: Изд-во стандартов, 1977. -6с.
9. Кочарьянц, К.В. Исследование зависимости скорости потока в обратном течении от типа приточного устройства [Электронный ресурс]/К.В.Кочарьянц/ Электронный научный журнал «Фундаментальные исследования». 2017.№4.39-43с.
10. Проектирование систем автоматического регулирования: учебное пособие / А.В. Волошенко, Д.Б. Горбунов; ТПУ – Томск: Издательство ТПУ, 2011. – 108 с.
11. Краснов Ю.С. Системы вентиляции и кондиционирования. Рекомендации по проектированию для производственных и общественных зданий: Справочное пособие / Ю.С. Краснов. –М.: Термокул, 2006. -288с.
12. ГОСТ 21.404-85 Автоматизация технологических процессов. / Госстрой СССР. – М.: 1985.
13. ГОСТ 21.602-2016 Правила выполнения рабочей документации для систем отопления, вентиляции и кондиционирования / Стандартиформ – М.:2016.

					08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		73

14. СТО ЮУрГУ 04–2008 Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению / составители: Т.И. Парубочая, Н.В. Сырейщикова, В.И. Гузеев, Л.В. Винокурова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008.

15. ГОСТ 7.1-2003 Межгосударственный стандарт система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу библиографическая запись. библиографическое описание общие требования и правила составления. - М.: Изд-во стандартов, 2003.

16. ГОСТ 2.104-2006 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Основные надписи (с Поправками)/ ВНИИНМАШ – М.: 2006.

17. СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование / Госстрой России. – М.:2003.

18. СТО НП АВОК 1.05-2006 Условные графические обозначения в проектах ОВ, КВ и ТХС / НП «АВОК». – М.:2006.

19. ГОСТ 7.1-2003 Межгосударственный стандарт система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу библиографическая запись. библиографическое описание общие требования и правила составления. - М.: Изд-во стандартов, 2003.

20. ГОСТ 32548-2013 Межгосударственный стандарт. Вентиляция зданий, воздухораспределительные устройства.

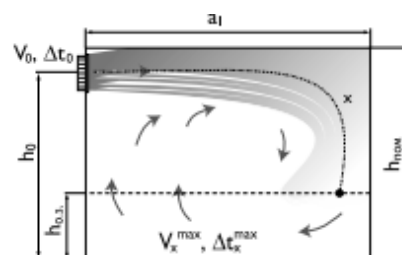
21. Титов, В.П., Сазонов Э. В. Курсовое и дипломное проектирование по вентиляции гражданских и промышленных зданий – М.: Стройиздат 1985г. – 208с.

22. Lewis G. Harriman. Dehumidification Equipment Advances // ASHRAE Journal. – 2002. – August. Technical guide for the ventilation of Arena, CAN-MET Energy Technology Centre – Varennes, Canada.

					08.04.01.2021.053.05 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		74

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Схема А Подача воздуха сверху вниз настилающимися на потолок струями



Рекомендуемые воздухораспределители и их аэродинамические характеристики для схемы А

Тип ВР	Положение регулирующего элемента	m^*	n	Примечание
АМН, АМР, АМН-К, АМР-К	$\alpha = 0^\circ$	8,4	5,1	Жалюзи расположены вертикально и веерно при $\alpha > 0^\circ$
АМН, АМР, АМН-К, АМР-К	$\alpha = 30^\circ$	6,2	3,7	
АДН, АДР, АДН-К, АДР-К	$\alpha_1 = \alpha_2 = 0^\circ$	8,4	5,1	Жалюзи расположены веерно при $\alpha > 0^\circ$, наружный ряд – вертикальный, внутренний – горизонтальный
АДН, АДР, АДН-К, АДР-К	$\alpha_1 = \alpha_2 = 30^\circ$	5,3	3,2	
АЛН, АЛР, АЛН-К, АЛР-К	–	8,4	5,1	Установлен на потолке у стены
ВГК, ВГК-К	$\alpha = 0^\circ$	2,9	1,8	
1АРС, 1АЛС	$\alpha = 0^\circ$	1,1	0,6	
2АРС, 2АЛС	$\alpha = 0^\circ$	1,6	0,8	
3АРС, 3АЛС	$\alpha = 0^\circ$	2,0	1,1	
4АРС, 4АЛС	$\alpha = 0^\circ$	2,2	1,2	
5АРС, 5АЛС	$\alpha = 0^\circ$	2,5	1,4	
6АРС, 6АЛС	$\alpha = 0^\circ$	2,8	1,5	
ДПУ-М	$b = 0,2 \text{ А}$	2,1	1,3	
ДПУ-К	$b = 0,15 \text{ А}$	2,8	1,2	
ДПУ-С	–	12,0	7,2	
ДПУ-В	$b = 0$	5,0	3,0	
1АПН, 1АПР	–	6,5	4,0	
1ВПТ, 1ВКТ, 2ВКТ	схема 2	1,2	1,0	
1ВПТ, 1ВКТ, 2ВКТ	схема 4	2,0	1,2	
1ВПТ, 1ВКТ, 2ВКТ	схема 5	2,8	1,7	
ВПЗ	–	3,2	1,9	
1ВПС, 2ВПС, 2ВПС-П, 1ВКС	схема 1	8,4	5,1	
	схема 2	3,4	2,0	

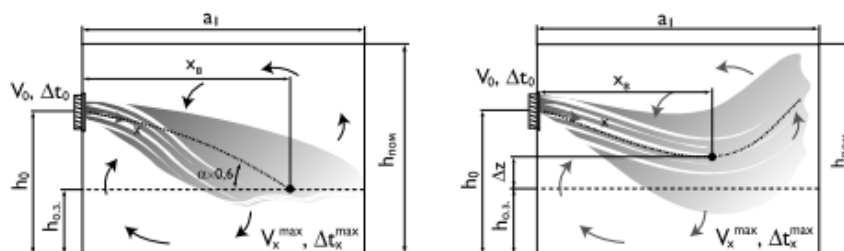
* – значения m для условий настипания

Рисунок А1 – Данные коэффициентов m и n .

Продолжение приложения А

Схема Б

Подача воздуха сверху вниз наклонными струями



Рекомендуемые воздухораспределители и их аэродинамические характеристики для схемы Б

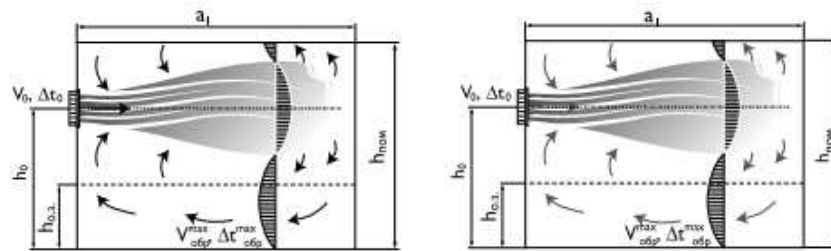
Тип ВР	Регулирование	m*	n	Примечание
АМН, АМР, АМН-К, АМР-К	$\alpha_1 = 30^\circ$	4,4	3,7	Жалюзи расположены параллельно под углом α_1 к горизонту
АМН, АМР, АМН-К, АМР-К	$\alpha_1 = 45^\circ$	4,1	3,4	
АМН, АМР, АМН-К, АМР-К	$\alpha_1 = 60^\circ$	3,9	3,3	
АДН, АДР, АДН-К, АДР-К	$\alpha_1 = 0^\circ \quad \alpha_2 = 30^\circ$	6,0	5,1	Жалюзи наружного ряда расположены вертикально и веерно под углом α_1 , жалюзи внутреннего ряда расположены в одну сторону и под углом α_1 к горизонту
АДН, АДР, АДН-К, АДР-К	$\alpha_1 = \alpha_2 = 30^\circ$	3,8	3,2	
АДН, АДР, АДН-К, АДР-К	$\alpha_1 = \alpha_2 = 45^\circ$	3,6	3,0	
АДН, АДР, АДН-К, АДР-К	$\alpha_1 = \alpha_2 = 60^\circ$	3,1	2,5	
ВГК, ВГК-К	$\alpha_1 = 30^\circ - 45^\circ$	2,1	1,8	Жалюзи расположены параллельно под углом α_1 к горизонту
АБН, АБР	–	6,0	5,1	
1ВПС, 2ВПС, 2ВПС-П, 1ВКС	схема 1	6,0	5,1	

Рисунок А2 – Данные коэффициентов m и n при подаче наклонными струями

Продолжение приложения А

Схема В

Поддача воздуха горизонтальными струями выше рабочей зоны



Рекомендуемые воздухораспределители и их аэродинамические характеристики для схемы В

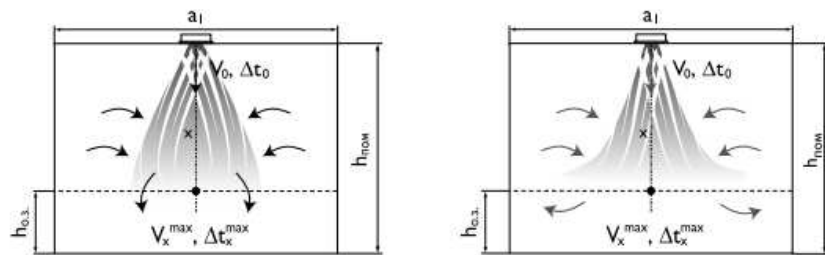
Тип ВР	Регулирование	m*	n	Примечание
АМН, АМР, АМН-К, АМР-К	$\alpha_1 = 0^\circ$	6,0	5,1	Жалюзи расположены веерно под углом α относительно центральной жалюзи
АМН, АМР, АМН-К, АМР-К	$\alpha_1 = 30^\circ$	4,4	3,7	
АМН, АМР, АМН-К, АМР-К	$\alpha_1 = 45^\circ$	4,1	3,4	
АДН, АДР, АДН-К, АДР-К	$\alpha_1 = \alpha_2 = 0^\circ$	6,0	5,1	
АДН, АДР, АДН-К, АДР-К	$\alpha_1 = \alpha_2 = 30^\circ$	3,8	3,2	
АДН, АДР, АДН-К, АДР-К	$\alpha_1 = \alpha_2 = 45^\circ$	3,6	3,0	
ААН, ААР, ААН-К, ААР-К	-	6,0	5,1	
ВГК, ВГК-К	$\alpha_1 = 0^\circ$	2,1	1,8	
ДПУ-С	-	8,5	7,2	
ДПУ-В	b=0	3,6	3,0	
1ВПТ, 1ВКТ, 2ВКТ	схема 5	2,0	1,7	
1ВПЗ	-	2,3	1,9	
1ВПС, 2ВПС, 2ВПС-П, 1ВКС	схема 1	6,0	5,1	
	схема 2	2,4	2,0	

Рисунок А3 – Данные коэффициентов m и n при поддаче струями выше рабочей зоны

Продолжение приложения А

Схема Г

Подача воздуха сверху вниз коническими и неполными веерными струями

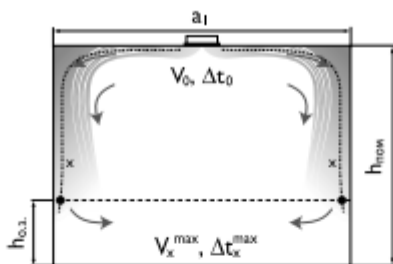


Рекомендуемые воздухораспределители и их аэродинамические характеристики для схемы Г

Тип ВР	Регулирование	m*	n	Примечание
АМН, АМР, АМН-К, АМР-К	$\alpha_1 = 0^\circ$	6,0	5,1	Жалюзи расположены веерно под углом $\alpha_1 > 0^\circ$ относительно центральной жалюзи
АМН, АМР, АМН-К, АМР-К	$\alpha_1 = 30^\circ$	3,9	3,3	
АМН, АМР, АМН-К, АМР-К	$\alpha_1 = 45^\circ$	3,6	3,0	
АМН, АМР, АМН-К, АМР-К	$\alpha_1 = 60^\circ$	3,3	2,8	
АДН, АДР, АДН-К, АДР-К	$\alpha_1 = \alpha_2 = 0^\circ$	6,0	5,1	Жалюзи наружного и внутреннего рядов расположены веерно под углом $\alpha_1 = \alpha_2 > 0^\circ$ относительно центральной жалюзи
АДН, АДР, АДН-К, АДР-К	$\alpha_1 = \alpha_2 = 30^\circ$	3,3	2,8	
АДН, АДР, АДН-К, АДР-К	$\alpha_1 = \alpha_2 = 45^\circ$	3,0	2,6	
АДН, АДР, АДН-К, АДР-К	$\alpha_1 = \alpha_2 = 60^\circ$	2,6	2,0	
ВГК, ВГК-К	$\alpha = 0^\circ$	2,1	1,8	
1АРС, 1АЛС	$\alpha = 0^\circ$	0,8	0,6	
2АРС, 2АЛС	$\alpha = 0^\circ$	1,1	0,8	
3АРС, 3АЛС	$\alpha = 0^\circ$	1,4	1,1	
4АРС, 4АЛС	$\alpha = 0^\circ$	1,6	1,2	
5АРС, 5АЛС	$\alpha = 0^\circ$	1,8	1,4	
6АРС, 6АЛС	$\alpha = 0^\circ$	2,0	1,5	
ДПУ-М	$b = 0,2 \text{ А}$	1,5	1,3	
ДПУ-К	$b = 0,15 \text{ А}$	2,0	1,7	
ДПУ-С	–	8,5	7,2	
ДПУ-В	положение 2	3,6	3,0	
1СПП, 1СПП-М, 1СКП	–	2,1	1,7	
ВПМ125	$b = 12 \text{ мм}, N = 12 \text{ об.}$	1,3	1,1	
ВПМ160	$b = 16 \text{ мм}, N = 13 \text{ об.}$	1,3	1,1	
1ВПТ, 1ВКТ, 2ВКТ	схема 5	2,0	1,7	
1ВПЗ, 1ВКЗ	–	2,3	1,9	
1ВПС, 2ВПС, 2ВПС-П, 1ВКС	схема 1	6,0	5,1	
	схема 2	2,4	2,0	
ВБ-П	–	2,1	1,7	
ВБ-С	–	6,0	5,1	

Рисунок А4 – Данные коэффициентов m и n при подаче вниз коническими струями

Окончание приложения А



Рекомендуемые воздухораспределители и их аэродинамические характеристики для схемы Д

Тип ВР	Регулирование	m*	n
2АРС	$\alpha = 45^\circ$ - веерно	1,6	1,2
4АРС	$\alpha = 45^\circ$ - веерно	2,2	1,7
6АРС	$\alpha = 45^\circ$ - веерно	2,8	2,1
ДПУ-М	$b = 0,1A, 0,15A$	0,6	0,5
ДПУ-К	$b = 0,05A$	1,0	0,8
ДПУ-В	положение 1	2,1	1,8
2АПН, 2АПР	-	4,6	2,8
3АПН, 3АПР	-	2,8	1,8
4АПН, 4АПР	-	2,2	1,6
ВПМ125	$b = 6$ мм, $N = 6$ об.	0,5	0,4
ВПМ160	$b = 8$ мм, $N = 6,5$ об.	0,5	0,4
1ВПТ, 1ВКТ, 2ВКТ	схема 1	0,9	0,8
1ВПТ, 1ВКТ, 2ВКТ	схема 2	1,2	1,0
1ВПТ, 1ВКТ, 2ВКТ	схема 3	1,5	1,3
1ВПТ, 1ВКТ, 2ВКТ	схема 6	0,4	0,3
ВБ-Д		2,2	1,6

* - значения m для условий настилаяния

Рисунок А5 – Данные коэффициентов m и n при подаче вниз настилаяющимися на потолок струями

Рекомендуемые для схемы Е воздухораспределители и их аэродинамические характеристики

Тип ВР	Положение регулирующего элемента	m	n
1ВГК, 1ВГК-К	$\alpha_1 = 0^\circ$	2,1	1,8
1ВНК, 1ВНК Н	-	0,5	0,4
1ВНП, 1ВНП Н	-	1,5	1,3
1ВНУ, 1ВНУ Н	-	2,0	1,7
2ВНТ, 2ВНТ Н	-	1,0	0,9
2ВНЛ, 2ВНЛ Н	-	2,2	1,9
2ВНВ	-	3,2	2,7
3ВНУ	-	1,0	0,9

Примечание. Значения коэффициентов m и n справедливы также и для ВР с регулятором.

Рисунок А6 – Данные коэффициентов m и n для низкоскоростных воздухораспределителей.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Форма струи	$\bar{A} = A_0/A_p$	Значения K_{con}^T при \bar{x} , равном					
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Компактная и неполная веерная $\bar{x} = \frac{\bar{x}}{m\sqrt{A_p}}$	Менее 0,003	1	1	1	1	1	1
	0,003	1	1	0,9	0,85	0,8	0,75
	0,005	1	0,9	0,8	0,75	0,7	0,65
	0,01	1	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4
	0,05	1	0,8	0,5	0,4	0,3	0,3
	0,1	1	0,7	0,45	0,35	0,3	0,3
	0,2	0,95	0,55	0,35	0,3	0,3	0,3
Плоская $\bar{x} = \frac{x}{m^2 H_p}$	—	1	0,85	0,7	0,6	0,5	0,4

Примечание. A_p – площадь помещения, перпендикулярная потоку воздуха, приходящаяся на один ВР (струю), м²; H_p – высота помещения, м.

Рисунок Б1 – Коэффициент стеснения K_{con}^T для компактных, неполных веерных и плоских струй.

Таблица Б1 – Коэффициент взаимодействия K_{in}

Число струй	Значение K_{in} при x/l , равном (см. рис. 17.2)							
	10	20	30	40	50	60	80	100
2	1	1,15	1,3	1,35	1,35	1,4	1,4	1,4
3	1	1,2	1,4	1,55	1,6	1,7	1,7	1,7
4	1	1,2	1,5	1,65	1,8	1,8	1,9	2,0
5	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2,0	2,1	2,1
6	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2,0	2,2	2,3
7	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,4
8	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5
9	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2,1	2,35	2,6
10	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2,1	2,4	2,6
11	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2,1	2,4	2,6
12	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2,1	2,4	2,7
Более 12	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2,1	2,4	2,7