

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Физико-технический
 Направление подготовки Физика
 Кафедра Общей физики

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование влияния шероховатости на аэродинамику криволинейной поверхности

УДК 533.69.046-047.37

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ11	Султанов Канжар Рашитович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ОФ	Лаптев Роман Сергеевич	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Маланина Вероника Анатольевна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Сечин Андрей Александрович	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Общей физики	Лидер Андрей Маркович	к.ф.-м.н.		

Результаты обучения

Код резул ьтата	Результат обучения (Выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные (универсальные) компетенции</i>		
P1	Понимает необходимость самостоятельного обучения и повышения квалификации в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-7), критерий 5 АИОР
P2	Проявляет способность эффективно работать самостоятельно в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, быть лидером в команде, консультировать по вопросам проектирования научных исследований, а также быть готовым к педагогической деятельности.	Требования ФГОС (ОК-6, ПК-11), критерий 5 АИОР
P3	Умеет находить зарубежных и отечественных партнеров, владеет иностранным языком, позволяющим работать с зарубежными партнерами с учетом культурных, языковых и социально-экономических условий.	Требования ФГОС (ОК-2, ОК-4), критерий 5 АИОР
P4	Проявляет понимание используемых методов, области их применения, вопросов безопасности и здравоохранения, юридических аспектов, ответственности за профессиональную деятельность и ее влияния на окружающую среду.	Требования ФГОС (ОК-3), критерий 5 АИОР
P5	Следует кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам научно-исследовательской деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5), критерий 5 АИОР
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P6	Проявляет глубокие естественнонаучные, математические профессиональные знания в проведении научных исследований в перспективных областях профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-1), критерий 5 АИОР
P7	Принимает участие в фундаментальных исследованиях и проектах в области физики низких температур, конденсированного состояния и материаловедения, а также в	Требования ФГОС (ПК-2), критерий 5 АИОР

	модернизации современных и создании новых методов изучения механических, электрических, магнитных и тепловых свойств твердых, жидких и газообразных веществ.	
P8	Способен обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в профессиональной деятельности, осуществлять презентацию научной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-4), критерий 5 АИОР
P9	Способен применять полученные знания для решения нечетко определенных задач, в нестандартных ситуациях, использует творческий подход для разработки новых оригинальных идей и методов исследования в области физики конденсированного состояния, низких температур и сжижения природного газа.	Требования ФГОС (ПК-3), критерий 5 АИОР
P10	Способен планировать проведение аналитических имитационных исследований по профессиональной деятельности с применением современных достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области научных исследований, умеет критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делает выводы, знает правовые основы в области интеллектуальной собственности.	Требования ФГОС (ОК-4, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9), критерий 5 АИОР
P11	Умеет интегрировать знания в различных и смежных областях научных исследований и решает задачи, требующие абстрактного и креативного мышления и оригинальности в разработке концептуальных аспектов проектов научных исследований.	Требования ФГОС (ОК-5, ПК-10), критерий 5 АИОР

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт – Физико-технический
 Направление подготовки – Физика
 Кафедра – Общей физики

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой
 _____ Лидер А.М.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
ОБМ11	Султанов К.Р.

Тема работы:

Исследование влияния шероховатости на аэродинамику криволинейной поверхности
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<ol style="list-style-type: none"> 1. Для этого исследования было использовано коммерческое программное обеспечение ANSYS. Используется Fluent (беглый). В этом исследовании обтекания неподвижного 2. круглого цилиндра (диаметр, D) с выборочно 3. нанесенной шероховатостью поверхности (полосы шероховатости толщиной "k") в присутствии разделительной пластины (длина, L). Передняя кромка пластины находится на расстоянии "G" от основания цилиндра. Рассматриваемая жидкость - это вода.
Перечень подлежащих исследованию 1,	<p>Исследования является анализ и понимание влияния шероховатости на аэродинамику криволинейной поверхности. Оно направлено на определение, как шероховатость поверхности влияет на аэродинамические параметры, такие как сопротивление, подъемная сила, обтекаемость и другие характеристики потока воздуха вокруг</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. объекта. <p>В ходе исследования будут использованы как экспериментальные методы, так и численное моделирование. Будет проведено измерение и анализ шероховатости криволинейной поверхности с</p>

<p>проектированию и разработке Вопросов</p>	<p>помощью соответствующих методов и приборов</p> <p>3. Проведение моделирование и обсуждение результатов. Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение Социальная ответственность</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>4. Финансовый менеджмент,</p>	<p>Маланина Вероника Анатольевна</p>

ресурсоэффективность ресурсосбережение	и	
5.Социальная ответственность		Сечин Андрей Александрович

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
------------------------------------------------------------------------------------------	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Лаптев Р.С.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ11	Султанов К.Р.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
ОБМ11	Султанов Канжар Рашитович

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭФ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	03.04.02 «Физика»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Затраты на сырьё, материалы, комплектующие изделия, специальное оборудование, основную и дополнительную заработную платы исполнителей, отчисления на социальные нужды, накладные расходы
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	1. Налоговый кодекс Российской Федерации 2. ФЗ №212 от 24.07.2009 в ред. от 19.12.2016

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала и инновационного потенциала НТИ	Определение потенциальных потребителей результатов исследования, анализ конкурентных технических решений.
2. Разработка устава научно-технического проекта	Планирование этапов разработки программы, определение трудоемкости.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Сравнительный анализ интегральных показателей эффективности, формирование бюджета НТИ
4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчет уравнений эффективности НТИ. Расчет уравнений сравнительной эффективности НТИ.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Матрица SWOT
5. График проведения и бюджет НТИ
6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
------------------------------------------------------	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН	Маланина Вероника Анатольевна	К.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ11	Султанов Канжар Рашитович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Группа		ФИО	
ОБМ11		Султанов Канжар Рашитович	
Школа	Инженерная школа энергетики	Кафедра	Общей физики
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	03.04.02 Физика

Тема ВКР:

Исследование влияния шероховатости на аэродинамику криволинейной поверхности	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p><i>Объект исследования:</i> исследованию влияния шероховатости на аэродинамику криволинейной поверхности, представляет собой специализированную зону, где проводятся соответствующие технологические процессы и используется определенное механическое оборудование.</p> <p><i>Область применения:</i> Авиация, Автомобильная индустрия, Морская инженерия, Энергетика, Строительство и гражданское строительство</p> <p><i>Рабочая зона:</i> производственное помещение</p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> Лаборатория или исследовательский центр, Аэродинамические приборы, Методы моделирования и анализа данных, Испытательный стенд или модель.</p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> Подготовка экспериментального образца, Установка и калибровка приборов, Проведение эксперимента.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности <u>при эксплуатации</u>:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>ПБ 03-576-03. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением; РД 34.40.509-903. Типовая инструкция по эксплуатации систем регенерации высокого давления энергоблоков мощностью 100-800 МВт; ТК РФ Статья 351.6. Особенности регулирования труда работников в сфере электроэнергетики, сфере теплоснабжения, в области промышленной безопасности, области безопасности гидротехнических сооружений; Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда.</p>

<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора 	<p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Струи жидкости, воздействующие на организм работающего при соприкосновении с ним; 2. Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека; 3. Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов. 4. Ударные волны воздушной среды; 5. Производственные факторы, связанные с повышенным уровнем ионизирующих излучений; 6. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий; <p>Вредные факторы:</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<ol style="list-style-type: none"> 1. Повышенный уровень общей вибрации; 2. Повышенный уровень локальной вибрации; 3. Повышенный уровень шума; 4. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; 5. Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего; 6. Монотонность труда, вызывающая монотонию; 7. Длительное сосредоточенное наблюдение. <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: Вентиляционные системы: Для обеспечения хорошей вентиляции в лаборатории или исследовательском центре, где проводятся эксперименты, могут использоваться специальные вентиляционные системы. Это помогает удалить вредные или опасные вещества из воздуха и создать безопасную рабочую зону.</p>
<p>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</p>	<p>Воздействие на селитебную зону: радиоактивное заражение территории при аварии Воздействие на литосферу: твердые радиоактивные отходы Воздействие на гидросферу: сброс охлаждающей воды при использовании в качестве охладителя рек, прудов; жидкие радиоактивные отходы Воздействие на атмосферу: выбросы из вентиляционных систем, содержащие низкие концентрации радиоактивных веществ; тепловое воздействие вследствие испарения части охлаждающей воды</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации</p>	<p>Возможные ЧС: Природные катастрофы (наводнения, цунами, ураган и т.д.); Геологические воздействия (землетрясения, оползни, обвалы, провалы территории и т.д.); Техногенные аварии (отказ систем безопасности; нарушение контроля и управления цепной ядерной реакции в активной зоне реактора; тепловой взрыв с выбросом радиоактивных веществ, пожар) Наиболее типичная ЧС: тепловой взрыв с выбросом радиоактивных веществ</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Сечин Андрей Александрович	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ11	Султанов Канжар Рашитович		

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт – Физико-технический
Направление подготовки – Физика
Уровень образования – Магистр
Кафедра – Общей физики
Период выполнения – (осенний / весенний семестр 2021/2023 учебного года)

Форма представления работы:

Исследование влияния шероховатости на аэродинамику криволинейной поверхности

магистерская диссертация

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата Контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
28.02.17	1 Литературный обзор	20
15.03.17	2 Методика эксперимента	25
30.03.17	3 Результаты и их обсуждение	25
15.04.17	4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
30.04.17	5 Социальная ответственность	15

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Лаптев Р.С.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Общей физики	Лидер А.М.	к.ф-м.н. доцент		

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит 103 страницы 8 рисунков и 15 таблиц.

Ключевые слова: Шероховатость, аэродинамика .

Цель работы – В этом исследовании обтекания неподвижного круглого цилиндра (диаметр, D) с выборочно нанесенной шероховатостью поверхности (полосы шероховатости толщиной " k ") в присутствии разделительной пластины (длина, L). Передняя кромка пластины находится на расстоянии " G " от основания цилиндра. Для этого исследования было использовано коммерческое программное обеспечение ANSYS Используется Fluent (беглый).

В целом, исследование показало, что шероховатость имеет значительное влияние на аэродинамику криволинейных поверхностей. Понимание этого влияния позволяет разработать более эффективные и оптимизированные аэродинамические решения. Дальнейшие исследования в этой области могут расширить наши знания и привести к разработке новых методов контроля и снижения шероховатости, что приведет к Улучшению аэродинамических характеристик и повышению эффективности различных объектов. Кроме того, исследование также может способствовать развитию новых подходов к моделированию и анализу влияния шероховатости, что позволит предсказывать и оптимизировать ее воздействие на аэродинамические процессы.

Оглавление

Результаты обучения	2
КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН	11
Реферат	12
Введение.....	15
1. RESEARCH METHODOLOGY	17
1.1 Selection of materials for modeling	17
1.2 Description of the numerical simulation method	22
1.3 Description of the roughness measurement method	25
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АЭРОДИНАМИКИ	28
2.2 Роль шероховатости в аэродинамике	31
2.3 Существующие исследования в области аэродинамики криволинейных поверхностей...38	
3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ.....	43
3.1. Анализ влияния шероховатости на аэродинамику криволинейной поверхности	43
3. 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	52
4.1 Предпроектный анализ	53
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	53
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений	54
4.1.3 SWOT – анализ.....	57
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	60
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	60
4.3 Бюджет научно-технического исследования	68
4.3.1. Расчёт материальных затрат исследования	68
4.3.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ.....	69
4.3.3. Основная заработная плата исполнителей исследования	70
4.3.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы	72
4.3.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	72
4.3.6. Расчет затрат на научные и производственные командировки	73
4.3.7. Накладные расходы (расчёт затрат на электроэнергию).....	73
4.3.8. Формирование бюджета затрат.....	74
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	74
Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	76
5.Социальная ответственность	77
Введение.....	77
5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:	78
5.2. Производственная безопасность при эксплуатации:	82
5.3. Экологическая безопасность при эксплуатации.....	94
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации	96

5.5. Выводы по главе.....	99
Заключение:	99

Введение

В современной аэродинамике, исследование влияния шероховатости на аэродинамику криволинейной поверхности представляет значительный интерес. Шероховатость, как неровности и неоднородности поверхности, является одним из ключевых факторов, влияющих на аэродинамические характеристики объектов в движении в потоке воздуха.

Целью данного исследования является анализ и понимание влияния шероховатости на аэродинамику криволинейной поверхности. Оно направлено на определение, как шероховатость поверхности влияет на аэродинамические параметры, такие как сопротивление, подъемная сила, обтекаемость и другие характеристики потока воздуха вокруг объекта. В ходе исследования будут использованы как экспериментальные методы, так и численное моделирование. Будет проведено измерение и анализ шероховатости криволинейной поверхности с помощью соответствующих методов и приборов. Затем будут выполнены вычислительные модели, основанные на численных методах, чтобы получить представление о характере и масштабе влияния шероховатости на аэродинамические характеристики. Результаты данного исследования могут иметь практическое значение для различных областей, связанных с аэродинамикой. Это может помочь в разработке более эффективных и оптимизированных аэродинамических конструкций, улучшении производительности и эффективности транспортных средств, а также в определении наиболее подходящих материалов и покрытий для поверхностей, работающих в аэродинамических условиях. В дальнейшем исследовании будет рассмотрено подробное описание методологии, получение и анализ результатов, а также их интерпретация и обсуждение. Основываясь на полученных данных, будет сделан вывод о влиянии шероховатости на аэродинамические характеристики криволинейной поверхности.

Исследование влияния шероховатости на аэродинамику криволинейной

поверхности представляет собой комплексный подход, включающий несколько этапов. Первоначально будет проведен анализ литературных источников, чтобы изучить существующие исследования в данной области. Будут рассмотрены различные типы шероховатости, их эффекты на аэродинамические характеристики и методы измерения шероховатости. Это позволит определить текущий уровень знаний и выявить нерешенные проблемы. Далее будет разработана методология исследования, включающая выбор подходящих моделей и методов измерения шероховатости, определение параметров эксперимента и численного моделирования. Будут выбраны соответствующие инструменты и оборудование для проведения экспериментов, а также программное обеспечение для численного моделирования. После этого будет выполнено экспериментальное измерение шероховатости на криволинейной поверхности. Будут использованы специальные приборы и методы, такие как профилометрия, интерферометрия или аэродинамические испытания в тоннеле, чтобы получить данные о шероховатости поверхности. Полученные экспериментальные данные будут сопоставлены с численными моделями. Будут проведены расчеты с использованием компьютерных программ, основанных на методах конечных элементов, конечных разностей или других численных методах. Это позволит получить представление о течении воздуха вокруг криволинейной поверхности с учетом шероховатости.

В конечном итоге будут проанализированы полученные данные и сделаны выводы о влиянии шероховатости на аэродинамические характеристики криволинейной поверхности. Будут оценены изменения сопротивления, подъемной силы, аэродинамического коэффициента и других параметров при различных уровнях шероховатости. Будут исследованы эффекты шероховатости на образование вихрей, перетекание границы слоя прилипания и другие явления, влияющие на аэродинамику. Это исследование имеет ряд практических применений. Первоначально, результаты исследования помогут лучше понять влияние шероховатости на аэродинамические характеристики криволинейной поверхности. Это может быть полезно для разработки более эффективных и оптимизированных аэродинамических конструкций, таких как автомобили, самолеты, крылья ветряных турбин и другие объекты, работающие в потоке воздуха. Кроме того, исследование может привести к улучшению

производительности и эффективности транспортных средств. Понимание влияния шероховатости на аэродинамические характеристики позволяет разработать методы снижения сопротивления воздуха, улучшения обтекаемости и уменьшения потерь энергии. Это может привести к снижению расхода топлива, увеличению скорости и повышению эффективности работы транспортных средств. Исследование также может иметь практическое значение для выбора материалов и покрытий для поверхностей, работающих в аэродинамических условиях. Знание влияния шероховатости на поток воздуха может помочь определить оптимальные характеристики поверхности, такие как грубость, шероховатость и структура, чтобы достичь наилучшей производительности и эффективности.

В заключение, исследование влияния шероховатости на аэродинамику криволинейной поверхности является важной задачей в области аэродинамики. Результаты этого исследования могут привести к разработке новых подходов и рекомендаций для оптимизации аэродинамических характеристик различных объектов. Они могут быть использованы в инженерных и промышленных приложениях, чтобы достичь лучшей производительности, эффективности и экономии ресурсов.

1. RESEARCH METHODOLOGY

1.1 Selection of materials for modeling

When modeling in the field of aerodynamics, a choice of materials that have certain properties is required in order to achieve the accuracy and realism of the simulation. Here are some recommendations on the choice of materials for modeling in aerodynamics:

Plastic: ABS (Acrylonitrile butadiene styrene): A tough and durable material that is widely used to create medium-sized models.

Polycarbonate: Has high strength and impact resistance, is well suited for creating

durable and transparent models.

Polyurethane (PU): A flexible material that allows you to create more complex shapes and details of models.

Composite materials:

Carbon fibers: Have high strength and low weight, which makes them an ideal choice for creating models with high requirements for strength and lightness.

Fiberglass: Has good strength and accessibility, is widely used to create models of medium and high complexity.

Metals:

Aluminum: Lightweight and durable material that can be used to create models with high precision and detail.

Brass: Has good machinability and makes it possible to create parts with high precision.

Solid Foams:

Foam: A lightweight and affordable material that can be used to create models with a low strength requirement.

PVC foam: Lightweight and durable material that is well suited for creating models of medium and high complexity.

When choosing a material, you should also take into account the manufacturing processes and the availability of the necessary equipment to work with the selected material. Also remember that the accuracy of modeling depends on the correspondence of the physical properties of the material to the object under study, so the choice of material should be based on the realism of modeling and achieving the necessary results.

Computer programs and numerical methods:

Computational Fluid Dynamics (CFD) programs: CFD programs, such as ANSYS Fluent, OpenFOAM, STAR-CCM+, allow numerical calculations of aerodynamic characteristics based on the Navier-Stokes equations. They provide more accurate results based on mathematical models.

Physical models:

Air Tunnels: Air tunnels allow you to experiment with physical models, creating conditions close to real ones. The choice of materials for physical models depends on specific requirements, but popular options are polystyrene, plastics, composites and metals.

Modeling using mathematical equations:

Theoretical modeling: Depending on your research topic, you can use mathematical equations, such as Euler's or potential flow equations, to model aerodynamic phenomena. In this case, the materials for modeling can be abstract and depend on the chosen approach.

Real prototypes:

If your dissertation requires the creation of physical prototypes, the choice of materials will depend on their size, shape and accuracy requirements. Possible materials include polystyrene, plastic, composites or metals.

Materials for aerodynamic measurements:

Pressure sensors: Pressure sensors can be used to measure pressure on the surface of models or in an aerodynamic flow. They can be made using thin membranes made of materials such as silicon or polymers.

Wire sensors: Wire sensors allow you to measure the flow rate at various points of the model. They can be made of metallic materials such as nickel or platinum.

Thermal sensors: Thermal sensors are used to measure temperature changes associated with aerodynamic effects. They can be made of thermocouples or semiconductor materials.

Turbulence Modeling:

Turbulence Models: In aerodynamics, turbulence models such as the k-epsilon model ($k-\epsilon$), the Reynolds-averaged Navier-Stokes model (RANS) or Large Eddy Simulation (LES) are used to account for turbulent effects in flows. The choice of materials for turbulence modeling will depend on the selected model and the program used.

Materials for the manufacture of models of wind turbines:

Composite Materials: Wind turbines are often made of composite materials such as fiberglass and carbon fiber (carbon-based composite). They provide an optimal balance between strength and weight.

Aluminum: In some cases, aluminum can be used to make wind turbine blades due to its strength and corrosion resistance.

Modeling of aerodynamic surfaces:

Carbon Composites: Carbon composites, such as carbon fiber or aramid fiber (Kevlar), have high strength and rigidity. They can be used to create aerodynamic surfaces, such as wings or fairings, with minimal weight and aerodynamic characteristics.

Aluminum and Alloys: Aluminum and its alloys are widely used in aviation due to their lightness, strength and good machinability. They can be used to create models of aerodynamic surfaces or structures.

Modeling of aerodynamic forces and moments:

Deformable materials: Deformable materials such as elastomers or polymers with piezoelectric properties can be used to simulate dynamic aerodynamic forces and moments. They can respond to changes in aerodynamic conditions, allowing more accurate modeling of interaction with the flow. **Resources for modeling in aerodynamics:**

Databases and reference books: You may need to consult databases and reference books containing aerodynamic characteristics of various shapes and profiles to select the appropriate parameters for your models.

Modeling of aerodynamic noise:

Acoustic materials: Special acoustic materials, such as porous materials or sound absorbers, can be used to simulate aerodynamic noise. They allow us to take into account the noise effects associated with the interaction of the aerodynamic flow with surfaces.

Materials for the creation of sensors and measuring devices:

Cermet: Cermet materials combine the strength of metal and the stability of ceramics. They can be used to create pressure sensors, thermal adhesives and other measuring devices that require high accuracy and stability.

Materials for modeling aerodynamic surfaces in small-scale models:

Various polymers: Various polymer materials, such as acrylic resins, polyamides or polyesters, can be used to create small-scale models of aerodynamic surfaces. They have sufficient strength and mechanical properties to simulate air flows on a small scale.

Modeling of aerodynamic behavior of ships and cars:

Model materials: Various model materials, such as polystyrene, polyurethane or plywood, can be used to simulate the aerodynamic behavior of ships and cars. They allow you to create detailed models and conduct tests in wind tunnels or on model stands.

Materials for modeling thermal effects in aerodynamics:

Heat-resistant materials: If your research involves modeling thermal effects in aerodynamics, then the use of heat-resistant materials may be required. Examples of such materials can be ceramics, nickel-plated steel or nickel-based alloys.

Modeling of aerodynamics at high speeds:

Ceramics and composites with high heat resistance: To simulate aerodynamics at high speeds, such as hypersonic flows, materials with high heat resistance, such as ceramics or carbon-based composites, may be required.

Experimental modeling:

Various materials: In experimental modeling in aerodynamics, different materials can be used depending on the requirements and conditions of the experiment. These can be lightweight materials, such as plastic or foam, which provide convenience and flexibility in creating models.

Auxiliary materials:

Adhesives and adhesives: To connect various components of models or structures, it may be necessary to use specialized adhesives and adhesives that ensure a strong and reliable connection of materials.

Paints and markings: Paints or marking materials can be used to mark and visually characterize models or surfaces.

Simulation of aerodynamics under high pressure conditions:

Special composites: In the case of modeling aerodynamics under high pressure conditions, such as aerodynamic tests in a wind tunnel, it may be necessary to use special composite materials that have high strength and resistance to pressure.

Materials for modeling aerodynamics in water:

Water-resistant materials: If your research is related to modeling aerodynamics in an aquatic environment, then it is necessary to use materials that are water-resistant and resistant to corrosion. Some examples include aluminum, stainless steel, or special plastic materials.

Materials for the creation of sensors and measuring devices:

Piezoelectric materials: Piezoelectric materials such as quartz, piezo ceramics or polymers with piezoelectric properties can be used to create pressure sensors or measuring instruments for aerodynamic measurements.

Materials for modeling hybrid systems:

Combined materials: In the case of modeling hybrid systems that combine different aerodynamic components or materials, combined materials such as composites, alloys or

multilayer structures may be required.

Modeling of aerodynamics in different environmental conditions:

Materials with high resistance to corrosion: Depending on the environmental conditions in which aerodynamics studies are conducted, it may be necessary to use materials that are highly resistant to corrosion, such as titanium or special coatings.

Materials for creating precise surfaces and finishes:

High-precision metals: High-precision metals such as high-purity aluminum or titanium alloys can be used to create precise surfaces and finishes that may be important in modeling aerodynamics.

Mirror coatings: To reflect light or laser measurement of air flows, you can use special mirror coatings on the surfaces of models.

Composites with controlled properties:

Changeable composites: If you need to simulate aerodynamics with changeable properties, you can use composite materials with the possibility of controlled changes in their mechanical or aerodynamic characteristics, such as composites with electrorheological or magnetorheological properties.

Nanomaterials for aerodynamic models:

Nanocomposites: The use of nanocomposite materials can be useful for creating aerodynamic models with improved properties such as strength, lightness and stability.

Materials for modeling gas flows:

Porous materials: Porous materials, such as porous metal or porous ceramics, can be used to simulate gas flows in aerodynamics, where the interaction of gas with the surface plays an important role.

1.2 Description of the numerical simulation method

Numerical modeling is a method of solving mathematical models of physical processes or systems under study using numerical methods and computer programs. It allows us to obtain approximate numerical solutions that describe the behavior of the system under given conditions.

The description of the numerical modeling method usually includes the following steps:

Formulation of a mathematical model: First, it is necessary to formulate a mathematical model that describes the behavior of a system or physical process. It can be a system of differential equations, Navier-Stokes equations, thermal conductivity equations and others.

Discretization: A mathematical model must be discretized, that is, divided into a finite number of elements or cells. This allows you to convert continuous equations into discrete forms that can be solved on a computer. The discretization can be carried out using various methods, such as the finite difference method, the finite element method, or the finite volume method.

Choosing a numerical method: To solve a discretized mathematical model, it is necessary to choose the appropriate numerical method. Some common numerical methods include Runge-Kutta methods, finite difference methods, finite element methods, finite volume methods, and Monte Carlo methods.

Solving a system of equations: Using the chosen numerical method, the system of equations obtained after discretization of the mathematical model is solved. This may involve iterative processes to approximate the solution.

Results analysis: After obtaining a numerical solution, the results are analyzed, which may include data visualization, calculation of system characteristics or comparison with experimental data. This allows us to evaluate the accuracy and reliability of numerical modeling.

Validation and verification: An important step is to verify the validity and accuracy of the numerical model. Validation involves comparing numerical results with experimental data or known analytical solutions. **Error and convergence:** In numerical modeling, it is important to analyze the error and convergence of the numerical method. The error determines the discrepancy between the exact analytical solution and the numerical approximation. Convergence reflects the ability of a numerical method to approach an exact solution with an increase in the number of elements or the grid step. The study of error and convergence helps to determine the optimal modeling parameters and establish the reliability of the results.

Consideration of boundary conditions: In numerical modeling, it is necessary to take into account the boundary conditions that determine the conditions at the boundary of the system under study. Boundary conditions can be set for flow, heat transfer, displacement, and other parameters. The choice and correct application of boundary conditions is essential for the reliability and accuracy of numerical results.

Accounting for uncertainties: In real systems, there are often uncertainties in the data or

model parameters. Numerical modeling may include accounting for uncertainties using sensitivity analysis methods, statistical modeling, or stochastic methods. This allows us to assess the impact of uncertainties on the results and analyze the reliability of the model.

Optimization: Numerical simulation can be used to optimize a system or process by changing parameters or geometry. Optimization methods, such as genetic algorithms, particle swarm methods, or gradient descent methods, can be applied to find optimal parameter values or the shape of the system.

Parallelization and high-performance computing: For more complex and computationally intensive numerical simulation tasks, high-performance computing and parallel programming can be used. Parallelization distributes calculations between several processors or nodes in the network, which allows you to speed up calculations and solve larger-scale tasks.

There are also specialized numerical modeling methods for certain tasks. For example, molecular dynamics methods are used to model the behavior of molecules and materials at the microscopic level, and smoothed particle hydrodynamics (SPH) methods are widely used to model complex flows of liquids and gases. In addition, with the development of computer technology and the advent of more powerful computing resources, high-performance computing methods such as parallel computing, distributed computing and the use of graphics processors (GPUs) to accelerate numerical calculations have become available.

It is important to note that numerical modeling is an approximate approach, and its results should be interpreted with caution. Validation of numerical simulation results with experimental data and verification of the model on various test cases are important steps to confirm the reliability of the model and its applicability to specific tasks. All these aspects should be taken into account and adapted to the specific task and requirements of the study when choosing and applying numerical modeling methods.

Multiscale modeling: In some cases, it is necessary to model systems that cover several spatial or temporal scales. To do this, we use multiscale modeling methods that allow us to take into account the influence of various physical processes at different levels of detail. Examples can be modeling the aerodynamics of an aircraft at the macroscopic level and modeling flows around its surface at the microscopic level.

Modeling of non-stationary processes: Some physical processes are characterized by

non-stationary behavior, that is, they change over time. Numerical methods capable of solving systems of equations in time are used to simulate such processes. For example, finite difference methods with an explicit or implicit time step scheme can be used to model unsteady aerodynamic processes.

Modeling of turbulent flows: Turbulent flows are complex and chaotic, and their modeling requires special approaches. Calculations of turbulent flows include the use of turbulent models, such as the k - ϵ model or the Reynolds-averaged Navier-Stokes model (RANS), as well as the use of direct numerical modeling (DNS) or Large Eddy Simulation (LES) methods to account for turbulent scales.

Accounting for multicomponent and multiphase flows: In some problems of aerodynamics, it is necessary to model flows involving several components or phases. For example, modeling the mixing of gases, vapors, or aerosols may require the use of multiphase flow models. In this case, special numerical methods and models are used, such as models of two-phase flows or models of mass and momentum transfer between phases.

Grid optimization: The quality of the grid on which numerical calculations are performed is essential for the reliability of the results.

1.3 Description of the roughness measurement method

The description of the roughness measurement method depends on the specific goals and requirements of the study. In general, there are several common methods for measuring surface roughness. One of these methods is profilometry, which is based on measuring the vertical deviations of the surface from the baseline. Profilometric measurements can be carried out using various instruments, including contact and non-contact profilometers. Contact profilometers use a thin probe or sensor that scans the surface and registers changes in height. Non-contact profilometers, for example, optical or laser, measure the height of the surface by reflecting or scattering light and analyzing the reflected signal. Another common roughness measurement method is the Franklin roughness method, which is based on the use of standard rough surfaces called Franklin roughness standards. There are also methods for measuring roughness based on interferometry, scanning probe microscopy, atomic force microscopy and other technologies. All these methods allow us to obtain data on the profile of the surface and its roughness at the micro and nanoscale. An important aspect when measuring roughness is the choice of evaluation parameters, such as roughness R_a (standard deviation), R_z (average altitude span) and others. The choice of parameters depends on the

specific task and the requirements of the study. The study of surface roughness is important for many fields, including engineering, materials science, manufacturing and many others. Proper measurement and analysis of roughness allows you to determine the quality of the surface

Continuing the description of the surface roughness measurement method, it is worth noting that one of the important parameters used in roughness assessment is the measurement sampling step. This is the distance between the points at which the height of the surface is measured. The smaller the sampling step, the more detailed information can be obtained about the microtopography of the surface.

After taking measurements and obtaining data on surface heights, they should be analyzed. One of the main methods of analysis is statistical data processing, which makes it possible to determine the characteristics of roughness, such as standard deviation (R_a), average altitude span (R_z), maximum deviation and others. Another important step is filtering the data to remove noise and surface irregularities that may distort the measurement results. Various filters are used for this, such as a Gaussian filter, a smoothing filter, or a median filter. In some cases, it may be necessary to use additional measurement methods, such as scanning electron microscopy (SEM) or other microscopy techniques that allow you to get a more detailed idea of the morphology of the surface and its roughness at the nanoscale. Surface roughness research has a wide range of applications, including production optimization, surface quality control, development of new materials and coatings, analysis of friction and wear, as well as prediction of interaction between surfaces in various applications. Effective measurement and analysis of surface roughness makes it possible to optimize the design, production and operation processes, as well as to increase the reliability and functional characteristics of products in various industries and science. In addition to statistical data processing, other methods are used for a more complete analysis of surface roughness. One of them is the analysis of the height spectrum, which is based on the Fourier transform of the measured surface profile. This method allows us to determine the frequency components of roughness and highlight the main structural characteristics of the surface, such as the frequency and amplitude of wave-like oscillations.

Another common method is functional surface analysis. It is based on the description of the shape of the surface using mathematical functions or special models. This makes it

possible to identify certain surface features, such as humps, pits, depressions, etc., and assess their impact on aerodynamic characteristics.

Microscopy instruments, such as an atomic force microscope (AFM) or an interferometric microscope, can also be used to measure surface roughness, which provide high accuracy and resolution of measurements at the micro and nanoscale. These methods allow you to get detailed information about the topography of the surface and identify even the smallest irregularities.

It should be noted that the choice of the roughness measurement method depends on the required accuracy, the size and characteristics of the surface, the available tools and experimental conditions. Combining different methods allows us to obtain the most complete information about roughness and its effect on aerodynamic processes.

The study of surface roughness is an active area of research because it has a significant impact on various technical processes and applications. Understanding and controlling the roughness of surfaces can improve the efficiency and performance of devices, reduce friction and wear, provide better adhesion and other useful properties of surfaces.

Another method of measuring surface roughness is the so-called profilometry method. It is based on the use of special devices called profilometers, which allow you to measure the height of surface irregularities at the micro- or nanometer level. Profilometers can be equipped with various types of probes or sensors, such as contact probes, optical sensors or laser scanners. They scan the surface and register the height of irregularities in different areas. The data obtained is then processed to determine various roughness characteristics, such as average roughness, height of peaks and troughs, width and frequency of irregularities, and other parameters. Profilometry allows you to obtain quantitative data on surface roughness and visualize them in the form of three-dimensional profiles or graphs. This helps researchers analyze and interpret surface features, as well as determine the effect of roughness on aerodynamic properties and other parameters.

It is important to note that roughness measurement methods can be adapted to various types of surfaces, including curved surfaces such as those found in cooling towers. This allows researchers to study the effect of roughness on the aerodynamics and efficiency of cooling towers and develop methods to reduce or control it.

In modern studies of the aerodynamics of curved surfaces, including cooling towers,

various methods of roughness measurement are actively used, including profilometry, interferometry, microscopy and others. This allows you to get a detailed understanding of the characteristics of the surface and their impact on aerodynamic processes, which contributes to the development of more efficient and optimized systems and devices.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АЭРОДИНАМИКИ

Теоретические основы аэродинамики изучают физические законы и принципы, описывающие движение газов и воздуха в взаимодействии с твердыми телами. Эта область науки играет важную роль в понимании и анализе различных аэродинамических явлений, таких как обтекание тел, сопротивление движению, подъемная сила, аэродинамические силы и моменты. В теоретических основах аэродинамики рассматриваются основные уравнения, которые описывают движение газов и воздуха, такие как уравнение непрерывности, уравнение Эйлера и уравнение Навье-Стокса. Они связывают свойства газа (плотность, скорость, давление) с изменением этих свойств в пространстве и времени. Другие важные концепции, изучаемые в теоретических основах аэродинамики, включают понятия обтекания, границы слоя прилипания, турбулентности, потерь энергии и эффектов сопротивления. Важно также учитывать влияние факторов, таких как скорость, плотность, вязкость и температура воздуха на аэродинамические процессы. Теоретические основы аэродинамики применяются в различных областях, включая авиацию, аэрокосмическую промышленность, автомобильное проектирование, строительство зданий и сооружений, энергетику и другие. Они помогают инженерам и научным исследователям предсказывать и оптимизировать поведение объектов в потоках воздуха, улучшать эффективность и безопасность различных систем и создавать инновационные решения в области аэродинамики.

Важной составляющей теоретических основ аэродинамики является понятие обтекания. Оно описывает процесс движения газа или воздуха вокруг твердого тела и взаимодействия между ними. Обтекание может быть ламинарным (порядочным) или турбулентным (хаотическим), и оно сильно влияет на аэродинамические

характеристики тела.

Границей между слоем газа, прилегающим к поверхности тела, и основным потоком газа является граница слоя прилипания. В этом слое между газом и твердым телом существует прилипание, и скорость газа близка к нулю. Распределение скорости газа в этом слое имеет важное значение для понимания сил, действующих на тело, и определения коэффициента сопротивления.

Турбулентность является еще одним важным аспектом аэродинамики. Она характеризуется хаотическим движением газа или воздуха, вызванным нелинейными эффектами. Турбулентные потоки обладают более высокими значениями сопротивления по сравнению с ламинарными потоками и требуют дополнительных усилий для их управления и предсказания.

Шероховатость поверхности также играет важную роль в аэродинамике. Она описывает неровности или неровности поверхности тела, которые могут приводить к существенным изменениям в аэродинамических характеристиках. Шероховатость может создавать турбулентность, вносить дополнительное сопротивление и изменять распределение давления вокруг тела. Поэтому при проектировании объектов важно учитывать и контролировать уровень шероховатости для достижения желаемых аэродинамических характеристик. Таким образом, понимание роли шероховатости, обтекания и турбулентности в аэродинамике является важным для разработки эффективных и оптимальных систем и конструкций, которые обеспечивают минимальное сопротивление, повышают эффективность и улучшенные аэродинамические характеристики. Изучение и анализ влияния шероховатости на аэродинамику позволяет оптимизировать форму и поверхность тела, уменьшить сопротивление воздуха, улучшить аэродинамическую эффективность и обеспечить более стабильное и предсказуемое обтекание.

Шероховатость поверхности может быть вызвана различными факторами, такими как неровности материала, микрошероховатости, покрытия или наложенные текстуры. Она может быть как естественной, так и искусственной. К примеру, в аэродинамическом дизайне автомобилей или самолетов используются специальные обтекатели, ребристые поверхности или специальные покрытия, чтобы управлять турбулентными потоками и уменьшить сопротивление воздуха.

Исследование влияния шероховатости на аэродинамику включает моделирование, экспериментальные и численные методы. С помощью компьютерных моделей и расчетов можно предсказать и оценить изменения в аэродинамических характеристиках при различных уровнях шероховатости. Экспериментальные методы включают испытания в аэродинамических трубах или на моделях ветрогенераторов, где измеряются силы, моменты и давления, чтобы получить данные о влиянии шероховатости на обтекание тела. Использование полученных результатов и знаний о влиянии шероховатости на аэродинамику позволяет разработчикам создавать более эффективные и оптимальные системы, уменьшать сопротивление воздуха, повышать скорость, устойчивость и маневренность объектов, а также снижать энергопотребление и улучшать общую производительность систем, в которых аэродинамика играет важную роль.

Аэродинамика - это отрасль динамики, которая изучает движение воздуха. Она является подразделом гидро- и газодинамики, и термин "аэродинамика" часто используется в контексте гидродинамики.

Ранние записи основных аэродинамических концепций относятся к работам Аристотеля и Архимеда во 2-м и 3-м веках до нашей эры, но количественная теория воздушного потока начала развиваться только в 18 веке. В 1726 году Исаак Ньютон стал одним из первых аэродинамиков в современном смысле, разработав теорию сопротивления воздуха, которая позже была проверена для низких скоростей потока. В течение 18-го и 19-го веков проводились эксперименты по изучению сопротивления воздуха, и в 1871 году была построена первая аэродинамическая труба. В своей работе "Гидродинамика" (1738) Даниэль Бернулли описал основную связь между давлением, скоростью и плотностью, сейчас известную как принцип Бернулли, который объясняет подъемную силу. В течение 19 века аэродинамические исследования были направлены на достижение полета тяжелее воздуха. В 1799 году Джордж Кэйли разработал концепцию современного самолета с неподвижным крылом и определил четыре основные силы полета: подъемную силу, тягу, сопротивление и вес. Разработка прогнозов для обеспечения необходимой тяги в сочетании с разработкой аэродинамических профилей, обладающих высокой подъемной силой и низким сопротивлением, открыла путь к первому моторизованному полету. 17 декабря 1903

года братья Уилбур и Орвилл Райт осуществили первый успешный полет на самолете с двигателем. Этот полет и полученная им реклама способствовали более организованному сотрудничеству между авиаторами и аэродинамиками, что положило основы современной аэродинамике.

2.2 Роль шероховатости в аэродинамике

Шероховатость - это физическая характеристика поверхности, определяющая ее неровности, шероховатость или текстуру. Она характеризует наличие микроскопических неровностей, выступов, пазов или других неровностей на поверхности материала. Шероховатость может быть присутствующей по природе или создаваемой искусственно.

Шероховатость играет важную роль во многих областях, таких как аэродинамика, гидродинамика, трибология и поверхностная обработка. В аэродинамике, например, шероховатость поверхности может влиять на обтекание объекта воздушным потоком и создавать сопротивление, что может снижать его эффективность. В трибологии, шероховатость поверхности может влиять на трение и износ при контакте двух твердых материалов. Измерение и контроль шероховатости являются важными задачами в инженерии и производстве, поскольку они позволяют оптимизировать процессы, повысить эффективность и долговечность изделий. Существуют различные методы измерения шероховатости, такие как профилометрия, микроскопия и др.

Управление шероховатостью может включать в себя различные методы, такие как полировка, шлифовка, покрытия и химическая обработка поверхности. Цель состоит в достижении требуемого уровня шероховатости для оптимизации свойств и функциональности поверхности в соответствии с конкретными требованиями и задачами.

Шероховатость имеет существенное влияние на различные аспекты инженерных и научных дисциплин. В аэродинамике, шероховатость поверхности может приводить к изменению обтекания объекта воздушным потоком и созданию дополнительного сопротивления, что снижает его эффективность. Это особенно важно при проектировании аэродинамических профилей, автомобилей, самолетов и других объектов, где минимизация сопротивления играет важную роль.

В гидродинамике, шероховатость поверхности влияет на течение жидкости в

трубах, каналах и других гидравлических системах. Она может вызывать турбулентность, изменение давления и потерю энергии в системе. Правильное управление шероховатостью поверхностей в гидравлических системах может повысить эффективность передачи жидкости и снизить энергетические потери.

В трибологии, шероховатость поверхности сильно влияет на трение и износ в контакте двух твердых поверхностей. Неровности на поверхности могут приводить к микро- и макро-потерям энергии в результате трения и износа материалов. Управление шероховатостью поверхностей в трибологических системах может улучшить смазку, снизить износ и повысить долговечность компонентов.

В области поверхностной обработки, шероховатость является важным параметром, который контролируется и учитывается при проведении процессов обработки, таких как шлифовка, полировка, покрытия и химическая обработка. Цель состоит в достижении оптимального уровня шероховатости для улучшения эстетических, функциональных и механических свойств поверхностей.

В целом, понимание и управление шероховатостью поверхностей являются важными задачами в различных областях науки и техники. Они позволяют оптимизировать процессы, повысить эффективность и долговечность компонентов и систем, а также обеспечить более точные и надежные условия для работы и взаимодействия объектов с окружающей средой. Изучение шероховатости позволяет более глубоко понять влияние поверхностей на физические и химические процессы, а также разработать методы и технологии для оптимизации этих процессов. Важной ролью шероховатости является создание определенных условий для аэродинамических и гидродинамических потоков. Например, наличие шероховатости на поверхностях самолетов или автомобилей может изменять обтекание и создавать дополнительное сопротивление, что может привести к ухудшению аэродинамических характеристик и повышенному расходу топлива. С другой стороны, в некоторых случаях шероховатость может использоваться для создания нужного аэродинамического эффекта, например, в специальных областях авиации или спортивных технологий.

В гидродинамике шероховатость поверхностей влияет на характер потока

жидкости. Неровности на поверхностях могут вызывать турбулентность и изменять распределение давления, что может иметь значительное значение в различных гидродинамических системах, таких как трубопроводы, насосы или судовые корпуса. Управление шероховатостью может быть важным фактором при проектировании таких систем для оптимизации эффективности и снижения потерь энергии.

Кроме того, шероховатость поверхностей имеет большое значение в области трибологии, изучающей трение, износ и смазку в контактах между твердыми поверхностями. Неровности поверхности могут влиять на механизмы трения и износа, а также на формирование смазочного слоя между поверхностями. Понимание и контроль шероховатости позволяют улучшить эффективность смазочных материалов и повысить долговечность трибологических систем.

Роль шероховатости в аэродинамике заключается в изменении обтекания объектов воздушным потоком. Неровности на поверхностях объектов создают турбулентность и вихри, что приводит к изменению давления и силы сопротивления. Шероховатость может снижать аэродинамическую эффективность объектов, однако в некоторых случаях она может использоваться для контроля потоков и создания нужных аэродинамических характеристик, например, в специальных профилях крыльев или в аэродинамических устройствах.

Шероховатость играет важную роль в аэродинамике и оказывает значительное влияние на движение воздуха вокруг твердых поверхностей. Она относится к неровностям, микрорельефу или неровностям поверхности, которые вызывают изменения в потоке воздуха. Влияние шероховатости может быть положительным или отрицательным в зависимости от конкретной ситуации.

Одной из основных ролей шероховатости является создание трения между воздухом и поверхностью, что приводит к замедлению и изменению направления потока. Это может быть полезным, например, для обеспечения лучшего сцепления воздушного судна с взлетно-посадочной полосой или для облегчения теплообмена между горячей поверхностью и окружающим воздухом в системах охлаждения.

С другой стороны, шероховатость может создавать сопротивление движению воздуха и вызывать потери энергии. В некоторых случаях это может быть нежелательным, особенно при стремлении минимизировать сопротивление зили

обеспечить более эффективное движение воздушных судов или автомобилей.

Кроме того, шероховатость может вызывать образование вихрей и турбулентности в потоке воздуха. Это может быть полезным для смешивания воздуха и создания локальных областей повышенной аэродинамической эффективности, но также может вызывать дополнительные потери энергии и снижение общей эффективности системы.

Таким образом, роль шероховатости в аэродинамике заключается в создании трения, изменении направления потока, вызывании сопротивления и турбулентности. Понимание и контроль этого фактора позволяют оптимизировать процессы и повысить эффективность систем, связанных с воздушным движением.

Шероховатость влияет не только на общую аэродинамику, но и на конкретные аспекты, такие как аэродинамическое сопротивление, подъемную силу и обтекание поверхностей. Одним из основных эффектов шероховатости является увеличение аэродинамического сопротивления. При движении воздуха вокруг шероховатой поверхности возникают вихри и турбулентные потоки, что приводит к увеличению сопротивления движению. Этот эффект особенно значим на высоких скоростях, где даже небольшие неровности могут значительно увеличить сопротивление.

Кроме того, шероховатость может влиять на подъемную силу. Неровности поверхности могут создавать дополнительные вихри и возмущения в потоке воздуха, что может привести к изменению обтекания и снижению подъемной силы. Оптимальное управление шероховатостью может помочь снизить эти отрицательные эффекты и улучшить аэродинамическую производительность.

Кроме того, шероховатость может вызывать локальные области повышенного сопротивления и образование турбулентности вокруг выступающих элементов. Это может оказывать влияние на структуру потока воздуха и обтекание объекта, что может приводить к ухудшению общей аэродинамической производительности. Однако, в некоторых случаях шероховатость может также иметь положительное влияние. Например, в специальных аэродинамических приборах или устройствах, шероховатая поверхность может специально использоваться для создания вихревых структур или повышения сцепления с потоком воздуха.

Таким образом, роль шероховатости в аэродинамике состоит в изменении

обтекания поверхностей, вызывании дополнительных вихрей и турбулентности, а также влиянии на общую аэродинамическую производительность. Понимание этих эффектов и контроль над шероховатостью позволяют инженерам и дизайнерам точнее оптимизировать аэродинамические характеристики объектов. Это может включать выбор оптимального типа поверхности, применение специальных покрытий или покрытий с уменьшенной шероховатостью, а также разработку методов управления турбулентным потоком. Исследования и моделирование влияния шероховатости в аэродинамике позволяют лучше понять физические процессы, происходящие в потоке воздуха и вокруг объектов. Это позволяет разрабатывать более эффективные и оптимизированные системы и устройства, учитывая влияние шероховатости на аэродинамическую производительность.

В итоге, роль шероховатости в аэродинамике заключается в том, что она является одним из факторов, определяющих обтекание объектов и их аэродинамические характеристики. Понимание и контроль над шероховатостью позволяют оптимизировать проектирование и улучшить эффективность систем и устройств, работающих в аэродинамической среде.

Шероховатость играет значительную роль в аэродинамике градирен. Градирни используются для охлаждения воды или других жидкостей путем их распыления в воздухе. Шероховатая поверхность градирни может оказывать влияние на процессы, связанные с обтеканием и разбрызгиванием жидкости. Неровности на поверхности градирни создают дополнительное трение в потоке воздуха, что может привести к увеличению сопротивления и снижению эффективности обмена тепла. Более гладкая поверхность градирни способствует более ламинарному обтеканию и уменьшению потерь энергии в потоке.

Оптимальное управление шероховатостью градирни может включать различные меры, такие как регулярное обслуживание для удаления отложений и загрязнений, применение специальных покрытий или материалов с уменьшенной шероховатостью, а также оптимизацию геометрии поверхности для улучшения обтекания.

Таким образом, контроль и оптимизация шероховатости на поверхности градирни играют важную роль в обеспечении эффективности и производительности градирных систем, позволяя достичь более эффективного обмена тепла и снизить энергетические

потери.

Шероховатость на поверхности градирни может приводить к различным эффектам в аэродинамике. Она может вызывать турбулентные потоки вокруг неровностей и изменять обтекание градирни. Это может приводить к увеличению сопротивления потока воздуха и ухудшению эффективности охлаждения. Кроме того, шероховатая поверхность может приводить к образованию вихрей и вихревых структур, которые могут влиять на обмен тепла и массы между воздухом и распыленной жидкостью. Это может приводить к неравномерному распределению жидкости и снижению эффективности охлаждения. Для улучшения аэродинамических характеристик градирни могут применяться различные подходы. Например, поверхность градирни может быть обработана для снижения шероховатости, либо могут использоваться специальные покрытия или материалы, которые способны улучшить обтекание и снизить сопротивление.

Также важным фактором является регулярное обслуживание градирни, включая очистку от загрязнений и отложений, чтобы предотвратить накопление неровностей на поверхности.

В целом, роль шероховатости в аэродинамике градирни заключается в ее потенциальном влиянии на эффективность охлаждения и производительность системы. Контроль и оптимизация шероховатости являются важными задачами для обеспечения оптимального функционирования градирных систем.

Виды шероховатности могут быть классифицированы по различным критериям, включая масштаб, форму и природу неровностей. Вот несколько основных видов шероховатности:

Микрошероховатость: Это неровности малого масштаба, обычно находящиеся на поверхности материала или объекта. Они имеют размеры от нанометров до нескольких микрометров. Примерами микрошероховатости могут быть поверхностные дефекты, микротрещины или мельчайшие выступы и впадины.

Макрошероховатость: Это неровности большего масштаба, которые простираются на большие расстояния. Они могут быть видимыми невооруженным глазом и иметь размеры от нескольких микрометров до миллиметров или даже сантиметров. Примерами макрошероховатости могут быть глубокие царапины,

выбоины или шероховатая текстура поверхности.

Геометрическая шероховатость: Это шероховатость, обусловленная формой неровностей на поверхности. Она может быть представлена различными геометрическими формами, такими как выступы, впадины, гребни или волны. Геометрическая шероховатость может влиять на потоки жидкости или воздуха, а также на взаимодействие соприкасающихся поверхностей.

Поверхностная шероховатость: Это шероховатость, обусловленная наличием микро- и макро-неровностей на поверхности материала или объекта. Она может быть вызвана такими факторами, как процессы обработки, истирание, химическая реакция или повреждение поверхности. Поверхностная шероховатость может иметь значительное влияние на трение, износ и взаимодействие с другими поверхностями.

Естественная и искусственная шероховатость: Естественная шероховатость возникает в результате природных процессов или свойств материалов.

Искусственная шероховатость, с другой стороны, создается специально или намеренно для определенных целей. Это может быть достигнуто различными методами, такими как механическая обработка, химическая обработка, нанесение покрытий или использование специальных технологий. Искусственная шероховатость может быть применена для достижения определенных свойств поверхностей, таких как улучшение сцепления, снижение отражения света, повышение смазывающих свойств или создание специфической эстетической текстуры.

Кроме того, шероховатость может быть описана с точки зрения параметров шероховатости, которые позволяют количественно оценить характер неровностей поверхности. Некоторые распространенные параметры шероховатости включают среднеквадратичное отклонение (RMS), среднюю арифметическую высоту (Ra), максимальную высоту (Rz), среднеквадратическое шероховатость (Rq) и другие. Эти параметры предоставляют информацию о высоте, ширинах и распределении неровностей на поверхности.

В зависимости от конкретной области применения и требований, выбор видов и характеристик шероховатости может быть решающим фактором для достижения желаемых результатов. Она может быть контролируемой и управляемой, чтобы достичь определенных целей и оптимизировать процессы в различных областях, ~~важ~~

как аэродинамика, гидродинамика, трибология, поверхностная обработка и другие.

2.3 Существующие исследования в области аэродинамики криволинейных поверхностей

Существуют многочисленные исследования в области аэродинамики криволинейных поверхностей, которые направлены на понимание и оптимизацию их аэродинамических характеристик. Эти исследования охватывают различные типы криволинейных поверхностей, включая автомобили, самолеты, корпуса судов, лопасти ветряных турбин и многие другие объекты. Одной из основных задач исследований является анализ воздействия формы криволинейной поверхности на сопротивление, подъемную силу и управляемость объекта. Это включает изучение аэродинамических потоков вокруг поверхности, анализ давления и обтекания, а также определение потерь энергии и создаваемых сил. Исследования также включают анализ взаимодействия криволинейных поверхностей с окружающей средой, такой как поток воздуха или воды. Это включает оценку эффектов турбулентности, пузырей, вихрей и других факторов, которые могут влиять на аэродинамические свойства поверхности. Цель таких исследований заключается в создании более эффективных и оптимизированных криволинейных поверхностей с улучшенными аэродинамическими характеристиками. Это может привести к уменьшению сопротивления, повышению подъемной силы, улучшению управляемости и общей эффективности объекта.

Все эти исследования проводятся с использованием различных методов и инструментов, включая компьютерное моделирование, экспериментальные испытания в аэродинамических трубах, численные методы, оптимизационные алгоритмы и другие подходы. Они позволяют углубить наше понимание аэродинамики криволинейных поверхностей и использовать это знание для создания более эффективных и инновационных технических решений.

Исследования в области аэродинамики криволинейных поверхностей также включают анализ влияния различных параметров на их аэродинамические характеристики. Это включает изучение влияния скорости потока, угла атаки, геометрических особенностей поверхности, аэродинамических профилей и других факторов. Важным аспектом исследований является определение оптимальных параметров и конфигураций криволинейных поверхностей, которые максимизируют

подъемную силу, минимизируют сопротивление или достигают других заданных целей. Для этого применяются методы оптимизации, включая многообразие математических и численных подходов. Кроме того, исследования включают разработку и анализ новых концепций криволинейных поверхностей, которые могут иметь уникальные аэродинамические свойства. Это может включать использование специальных профилей, уникальных геометрических форм или комбинаций различных элементов для достижения оптимальных характеристик. Исследования в области аэродинамики криволинейных поверхностей имеют широкий спектр применений. Они могут применяться в авиационной и автомобильной промышленности, проектировании судов, разработке ветряных энергетических установок, создании спортивных снарядов и многих других областях, где эффективность и управляемость объектов играют важную роль. Исследования в этой области продолжаются, и новые технологии и методы постоянно разрабатываются для улучшения аэродинамических характеристик криволинейных поверхностей. Это способствует развитию более эффективных и инновационных технических решений, которые могут применяться в различных отраслях промышленности и повышать их конкурентоспособность.

Кроме исследований, проводимых в области аэродинамики криволинейных поверхностей, также активно разрабатываются и применяются различные методы и инструменты для моделирования и анализа их аэродинамических характеристик. Одним из таких методов является компьютерное численное моделирование с использованием метода конечных элементов или метода конечных объемов. Эти методы позволяют проводить детальное моделирование потока вокруг криволинейных поверхностей, учитывая их геометрию, граничные условия и другие факторы. Такой подход позволяет получить более точные результаты и более глубокое понимание аэродинамического поведения объектов. Также широко применяются физические моделирования, такие как испытания в аэродинамических тоннелях или с использованием аэродинамических испытательных стендов. Эти испытания позволяют получить экспериментальные данные о поведении криволинейных поверхностей в различных условиях, включая разные скорости потока, углы атаки и другие параметры.

Исследования в области аэродинамики криволинейных поверхностей также включают разработку и применение новых аэродинамических концепций и инновационных технологий. Это может включать разработку новых аэродинамических профилей, применение активного управления потоком или использование специальных покрытий для улучшения аэродинамических характеристик. Исследования в этой области имеют большое значение для различных отраслей промышленности. Они позволяют повысить эффективность и производительность объектов, уменьшить сопротивление и потери энергии, улучшить управляемость и маневренность.

Другой важной областью исследований в аэродинамике криволинейных поверхностей является оптимизация аэродинамических характеристик для уменьшения шума. Шум, возникающий при движении объектов воздушной или водной среде, может быть значительным и создавать дискомфорт для окружающих. Путем изучения и модификации формы и поверхностей объектов исследователи стремятся снизить аэродинамический шум, улучшить акустический комфорт и сделать технические системы более эффективными и экологически безопасными. Другие направления исследований в области аэродинамики криволинейных поверхностей включают разработку аэродинамических систем для спортивных и развлекательных целей, таких как аэродинамические обтекатели для гоночных автомобилей, яхт и самолетов, а также аэродинамические элементы для экстремальных видов спорта, парашютного спорта и др.

В целом, исследования в области аэродинамики криволинейных поверхностей способствуют развитию новых технологий, повышению эффективности и безопасности различных объектов, а также улучшению нашего понимания аэродинамических явлений и процессов. Это позволяет создавать более инновационные и устойчивые решения в различных отраслях, от авиации и автомобилестроения до энергетики и спорта.

Кроме того, исследования в области аэродинамики криволинейных поверхностей имеют важное значение для авиационной промышленности. Аэродинамические характеристики крыла самолета, включая форму, профиль и углы атаки, играют решающую роль в его полетных свойствах, маневренности и эффективности.

Использование криволинейных поверхностей может помочь улучшить аэродинамическую эффективность крыла, снизить аэродинамическое сопротивление и увеличить подъемную силу. Важной областью исследований является также аэродинамика автомобилей. Форма и обтекаемость автомобиля существенно влияют на его аэродинамические характеристики, включая аэродинамическое сопротивление, подъемную силу и управляемость. Оптимизация аэродинамики автомобиля позволяет улучшить его эффективность, экономию топлива и стабильность на дороге.

Исследования в области аэродинамики криволинейных поверхностей также применяются в разработке аэродинамических обтекателей для поездов и ветроэнергетических установок. Аэродинамически оптимизированные обтекатели для поездов позволяют снизить сопротивление и повысить эффективность движения, что приводит к экономии энергии и снижению воздействия на окружающую среду. Ветроэнергетические установки с использованием криволинейных поверхностей могут обеспечивать более эффективный сбор энергии ветра и увеличить производительность ветряных турбин. Таким образом, исследования в области аэродинамики криволинейных поверхностей играют важную роль в различных промышленных секторах, обеспечивая разработку более эффективных, экономичных и экологически устойчивых технологий и конструкций.

Существует огромное количество исследований в области аэродинамики криволинейных поверхностей, включая исследования, связанные с аэродинамикой градирен. Градирня - это сооружение, которое используется для охлаждения воды путем контакта с воздухом. Оптимальная аэродинамика градирен имеет важное значение для эффективного охлаждения и минимизации потерь энергии.

Исследования в области аэродинамики градирен направлены на оптимизацию их конструкции и параметров с целью обеспечения оптимальной производительности охлаждения. Одним из важных аспектов исследований является изучение влияния формы и геометрии градирен на прохождение воздушного потока. Различные формы градирен, такие как прямолинейные, криволинейные, с плавными переходами и другие, могут иметь различное влияние на аэродинамические характеристики и эффективность охлаждения. Исследования также включают анализ течения воздуха внутри градирни и его взаимодействие с падающей водой. Это включает изучение

формирования пленки воды, турбулентности потока воздуха, образования вихрей и других аэродинамических явлений. Целью таких исследований является определение оптимальных параметров, таких как скорость потока воздуха, геометрия отверстий и распределение падения воды, для обеспечения максимальной эффективности охлаждения и минимизации потерь энергии. Другим аспектом исследований является моделирование и численное моделирование аэродинамических процессов в градирнях. С использованием компьютерных программ и математических моделей, исследователи могут анализировать течение воздуха, взаимодействие с водой и оптимизировать параметры конструкции градирни для достижения наилучших результатов.

Такие исследования в области аэродинамики градирен имеют практическое значение для проектирования и эксплуатации градиренных систем охлаждения, особенно в промышленности и энергетике. Оптимизация аэродинамических характеристик градирен позволяет достичь более эффективного охлаждения воды при минимальных энергетических потерях.

В существующих исследованиях в области аэродинамики криволинейных поверхностей градирен особое внимание уделяется разработке новых конструкций и методов, направленных на улучшение аэродинамических характеристик градирен. Это включает разработку инновационных форм и профилей поверхностей, использование различных материалов с низким коэффициентом трения и улучшенной аэродинамикой, а также применение специальных покрытий, уменьшающих сопротивление воздуха. Также исследования включают оценку влияния различных факторов на аэродинамические характеристики градирен, таких как скорость воздушного потока, температура, влажность, конструктивные особенности и другие параметры. Анализ этих факторов позволяет определить оптимальные условия работы градирен и разработать рекомендации для их оптимального проектирования и эксплуатации. В целом, существующие исследования в области аэродинамики криволинейных поверхностей градирен направлены на повышение эффективности охлаждения и снижение энергетических потерь. Результаты этих исследований способствуют разработке более эффективных и устойчивых систем охлаждения, что

имеет важное значение в различных отраслях промышленности и энергетики, где требуется эффективное охлаждение воды для поддержания оптимальных рабочих условий и обеспечения безопасной и эффективной работы технологических процессов.

Некоторые существующие исследования в области аэродинамики криволинейных поверхностей градирен фокусируются на численном моделировании и экспериментальных исследованиях для анализа потоков воздуха и определения их характеристик. Это включает изучение распределения скоростей и давлений на поверхности градирен, а также анализ формирования вихревых структур и потерь давления в потоках. Одна из основных целей таких исследований - определить оптимальные параметры и конфигурации градирен для достижения наиболее эффективного охлаждения при минимальных потерях энергии. Результаты исследований позволяют улучшить конструкцию градирен, оптимизировать их геометрию и параметры, а также разработать рекомендации по оптимальному расположению градирен и использованию аэродинамических элементов, таких как отводящие и направляющие воздушные каналы.

Другие исследования в области аэродинамики криволинейных поверхностей градирен фокусируются на анализе влияния различных факторов на их эффективность. Это может включать влияние скорости воздушного потока, геометрии поверхности градирен, плотности и вязкости воздуха, а также внешних условий, таких как температура и влажность воздуха. Цель таких исследований - определить оптимальные условия работы градирен для достижения наилучшей эффективности охлаждения.

процессы, что способствует разработке более эффективных и оптимизированных систем и устройств.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

3.1. Анализ влияния шероховатости на аэродинамику криволинейной поверхности

В этом исследовании обтекания неподвижного круглого цилиндра (диаметр, D) с выборочно нанесенной шероховатостью поверхности (полосы шероховатости толщиной " k ") в присутствии разделительной пластины (длина, L). Передняя кромка

пластины находится на расстоянии "G" от основания цилиндра. Для этого исследования было использовано коммерческое программное обеспечение ANSYS. Используется Fluent (беглый).

Рассматриваемая жидкость - это вода. Исследование проводилось в следующих случаях (а) простой цилиндр (б) цилиндр с шероховатостью поверхности (без разделительной пластины) (в) Цилиндр с разделителем пластина (без шероховатости поверхности) и (д) цилиндр с использованием как шероховатости, так и разделительной пластины. Исследуемое число Рейнольдса (основанное на D) составляет 17 000, а $k/\delta = 1,25$ (во всех случаях).

Результаты показывают, что для цилиндра с разделительной пластиной (без шероховатости) коэффициент подъемной силы постепенно снижается до $G/D=1,5$, далее он резко возрастает. Принимая во внимание, что коэффициент лобового сопротивления и число Струхала незначительно снижаются до $G/D=1,0$, а затем постепенно увеличиваются.

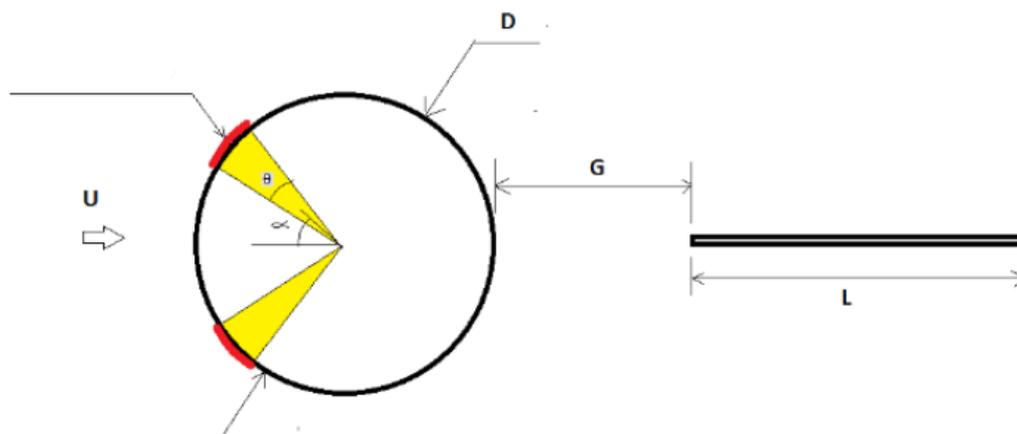
Расположение полосы (α) по окружности существенно не влияет на аэродинамические параметры. При одной только шероховатости сопротивление увеличивается примерно в 1,5 раза, а подъемная сила - примерно в 2,7 раза по сравнению с соответствующими значениями гладкого цилиндра. При использовании разделительной пластины для придания шероховатости при всех значениях ' α ' сопротивление и подъемная сила существенно снижаются, при этом наименьшее значение достигается при $G/D=1,0$.

1. введение

Обтекание круглого цилиндра было тщательно изучено благодаря его применению в самых разнообразных инженерных сооружениях, таких как дымовые трубы, теплообменники, градирни и так далее.

В настоящем исследовании выборочная шероховатость наносится на круглый цилиндр с использованием полосы шероховатости, имеющей ширину "b" (охват по окружности $=10^\circ$) и высоту шероховатости (k). Кроме того, в борт кузова вставлена разделительная пластина. Таким образом, исследовано совместное влияние шероховатости поверхности и разделительной пластины на аэродинамические/гидродинамические характеристики круглого цилиндра 44при

значении числа Рейнольдса, равном 17000. Конфигурация исследования показана на рис.1.



2. Номенклатура

St - число Струхала

C_l^* - безразмерный коэффициент подъемной силы

C_{pb} - Коэффициент базового давления,

δ – Толщина пограничного слоя

G/D - Отношение зазора к диаметру,

k – Высота шероховатости

L/D - Отношение длины к диаметру

C_d^* - Безразмерный коэффициент лобового сопротивления

α – Местоположение шероховатости

3. Вычислительная модель и валидация

Численное моделирование в настоящем исследовании проводилось с использованием ANSYS FLUENT, коммерческого CFD-инструмента на основе конечных объемов. Переходные формулировки управляющих уравнений для течения несжимаемой жидкости являются следующими:

Уравнение непрерывности:

Подход SST k- ω был использован для оценки турбулентности, в частности, из-за его способности моделировать потоки, в которых преобладают разделение и рециркуляция. Область дискретизируется с использованием четырехугольной сетки с адекватным разрешением пристеночных областей. Было обнаружено, что размер сетки в 210748 ячеек является достаточным для решения, не зависящего от сетки.

Значение $wally +$ находится в диапазоне 2-10. Схема восходящего ветра второго порядка используется для конвективных и диффузионных условий. Для того чтобы проверить правильность вычислительной модели, необходимо предсказанные число Струхала, коэффициент базового давления и среднеквадратичное значение коэффициента подъемной силы сравнивались с экспериментальными данными, приведенными в литературе, при том же числе Рейнольдса. Сравнение экспериментальных и настоящих результатов CFD обобщено в таблице 1.

Результаты моделирования достаточно хорошо согласуются с экспериментально полученными значениями соответствующих параметров.

Таблица.1: Согласование данных моделирования с экспериментальными результатами для гладкого цилиндра и цилиндра с разделительной пластиной

Параметр	Эксперимент (Ozono, [13]) – Гладкий Цилиндр с разделительной пластиной	CFD (настоящее исследование) - гладкий цилиндр с разделительной пластиной	Эксперимент (Норберг [6]) Гладкий цилиндр	CFD (настоящее исследование) - Гладкий цилиндр
St	1.148	0.1464	0.198	0.196
C_{pb}	0.77	0.75	-----	----
$C_1(rms)$	----	----	0.446	0.424

Настоящее исследование проводится при значении числа Рейнольдса (основанном на D), равном 17 000. Интенсивность турбулентности в свободном потоке составляет 1%. Судя по рис.1, расположение полос шероховатости таково $\alpha = 0^\circ, 9^\circ, 31^\circ, 65^\circ, 75^\circ$.

Более того, для толщины пограничного слоя $\delta k/\delta$ поддерживается постоянным на уровне 1,25 на всем протяжении полосы, для толщины пограничного слоя $\delta k/\delta$ поддерживается постоянным на уровне 1,25 во всех местах расположения полосы (α).

Следует отметить, что толщина пограничного слоя варьируется в каждом месте по окружности, и значения, рассчитанные в каждом месте, приведены в таблице.2. Толщина пограничного слоя рассчитывается на основе модифицированного метода Полхаузена, описанного в Khan et al [14].

Исследовательские конфигурации, рассмотренные в этой серии симуляций, следующие (а) автономный гладкий круглый цилиндр (б) Круглый цилиндр с полосой шероховатости в местах ‘ α ’, упомянутых выше (без разделительной пластины) (с) Цилиндр с разделительной пластиной при $G/D=0,5, 0,75, 1,0, 1,5$ и $2,0$, L/D фиксируется на уровне 1,0 (без шероховатости) (d) цилиндр с использованием как шероховатости, так и разделителя.

Таблица. 2: Значения толщины пограничного слоя в различных местах по окружности

α	$\sigma(mm)$
0°	0.299215
9°	0.300321
31°	0.312966
65°	0.370096
75°	0.401496

4. Результаты и обсуждение

Результаты для исследуемых конфигураций включают коэффициент лобового сопротивления, коэффициент подъемной силы (среднеквадратичное значение) и число Струхаля. Все эти параметры безразмерны по отношению к соответствующим значениям для гладкого цилиндра и представлены на рис. 2-4. Как видно на рис.2, безразмерный коэффициент подъемной силы уменьшается по мере увеличения G/D с 0,5 до 1,5, далее до которого он резко возрастает до высокого значения. Безразмерный номер Струхаля и коэффициент лобового сопротивления незначительно уменьшаются при увеличении G/D с 0,5 до 1,0, и регистрируется тенденция к увеличению при $G/D > 1,0$ (рис.2).

Только с разделительной пластиной при $G/D=1,5$ подъемная сила существенно снижается примерно на 25% по сравнению с гладким цилиндром, тогда как лобовое сопротивление уменьшается примерно до 75% по сравнению с гладким цилиндром при $G/D=1,0$.

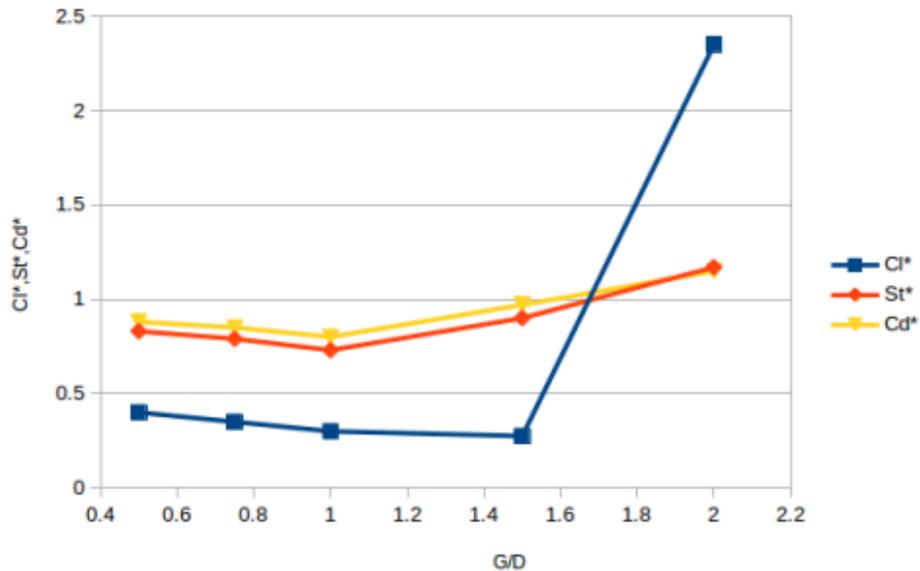


Рис. 2: Вариация Cl , Cd и St с соотношением G/D (обычный цилиндр)

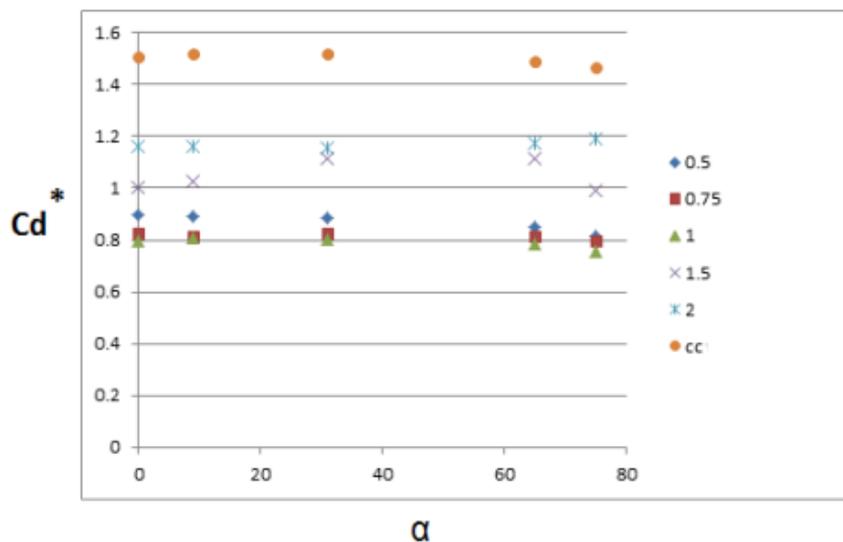


Рис.3: Изменение коэффициента безразмерного лобового сопротивления в зависимости от расположения шероховатости

На рис.3 приведены безразмерные коэффициенты лобового сопротивления для исследуемой конфигурации (d), упомянутой ранее (как с шероховатостью, так и с разделительной пластиной). Как можно видеть, по сравнению со случаем только с шероховатостью, все случаи с разделительной пластиной демонстрируют снижение значений лобового сопротивления. По мере уменьшения G/D лобовое сопротивление в целом уменьшается. Довольно интересно, что при дальнейшем снижении G/D с 1,0

сопротивление немного увеличивается, указывая на то, что существует оптимальное G/D , при котором сопротивление минимально. Этот разворот тренда особенно очевиден при $\alpha = 0$ (точка застоя).

При заданном значении G/D изменение расположения полос не приводит к каким-либо заметным изменениям значений лобового сопротивления. Но только при наличии шероховатости (без разделительной пластины), как показано на рис.3, сопротивление увеличивается примерно в 1,5 раза по сравнению с гладким цилиндром. Кроме того, на рис.3 также показано, что великолепное снижение примерно на 50% может быть достигнуто за счет использования как шероховатости, так и разделительной пластины.

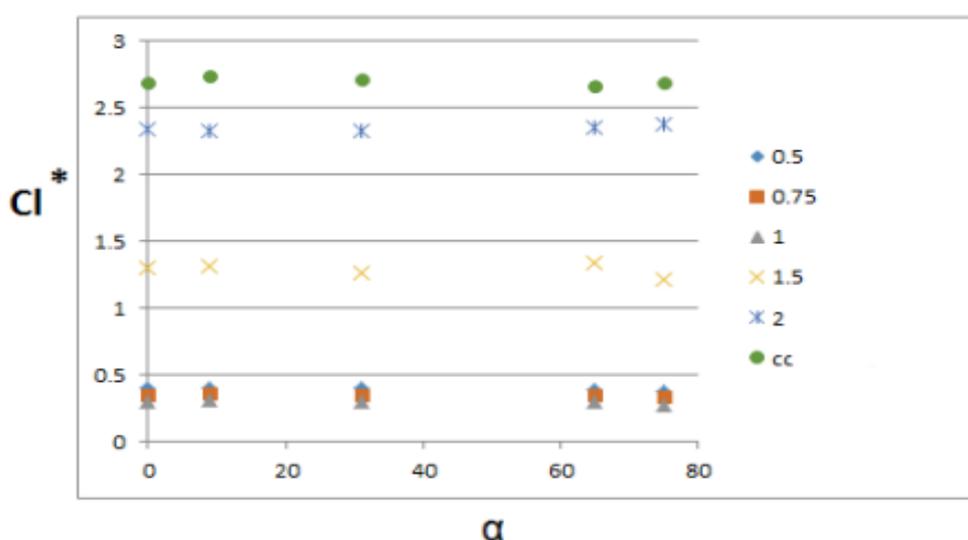


Рис. 4: Изменение безразмерного коэффициента подъемной силы в зависимости от расположения шероховатости

Безразмерный коэффициент подъемной силы (рис.4) также показывает тенденцию, аналогичную тенденции лобового сопротивления при введении как шероховатости, так и разделительной пластины. Можно видеть,

что при шероховатости (без разделительной пластины) подъемная сила увеличивается примерно в 2,7 раза по сравнению с гладким цилиндром. Весьма интересно, что, как показывают эти результаты, с введением разделительной пластины наряду с шероховатостью коэффициент подъемной силы падает до существенно меньшего значения, равного значению, полученному в конфигурации только с разделительной пластиной, т.е. на 25% по сравнению с гладким цилиндром.

Аналогично, увеличение коэффициента лобового сопротивления, полученное при

нанесении шероховатости (в 1,5 раза больше, чем у гладкого цилиндра; рис.3), нейтрализуется разделительной пластиной, что приводит к очень низкому значению лобового сопротивления, равному (75% от значения гладкого цилиндра). То есть выборочно нанесенная шероховатость имеет тенденцию усиливать как лобовое сопротивление, так и подъемную силу, в то время как разделитель имеет тенденцию подавлять их оба, вызывая таким образом взаимно противоположные эффекты. Следовательно, считается, что при соответствующем использовании шероховатости и разделительной пластины аэродинамическими/гидродинамическими характеристиками можно было бы соответствующим образом управлять. Это соответствует цели настоящего исследования.

С разделительной пластиной подъемная сила снижается до более низких значений при меньших соотношениях G/D ; падение составляет почти 75% (по сравнению с гладким цилиндром) при $G / D=1,0$. Аналогично сопротивлению, изменение тенденции происходит и для подъемной силы, при этом снижение G/D ниже 1,0 немного увеличивает подъемную силу при проверены все места шероховатости. Указывается, что число Рейнольдса текущего исследования ($=17000$) падает в режиме TrSL 2, где флуктуирующая подъемная сила показывает заметное увеличение (Здравкович [15]), но оно ниже, чем то же самое увеличение по сравнению с режимом TrSL 3.

Весьма интересно отметить, что при высоких числах Рейнольдса (порядок величины такой же, как в настоящем исследовании) выборочно нанесенная шероховатость поверхности вызывает скачкообразные колебания высокой амплитуды в гибко установленном круговом цилиндре в потоке воды в большинстве мест по окружности, рассмотренных Чангом и соавторами [10], за исключением 64 градуса (вблизи точки разделения). Это, по-видимому, разумно согласуется со значительным повышением коэффициента подъемной силы, полученным почти во всех местах по окружности в настоящем исследовании.

Наблюдаемые особенности в динамике лобового сопротивления, подъемной силы и числа Струхалия испытываемого круглого цилиндра могут быть объяснены структурой разделенных слоев сдвига и ее взаимодействием с элементом шероховатости и разделительной пластиной. Это имеет прямое влияние на динамику следа и отражено

на рис. 2-4. Однако, чтобы точно определить причины, требуются дальнейшие экспериментальные или численные исследования, которые запланированы на будущее.

Анализ влияния шероховатости на аэродинамику криволинейной поверхности является важным исследовательским направлением, которое позволяет понять, как неровности поверхности влияют на поток воздуха и аэродинамические характеристики.

Шероховатость поверхности, такая как неровности, шершавость и текстура, может создавать микроэлементы потока воздуха, приводить к изменению скорости и направления потока, а также вызывать турбулентность. Это может приводить к образованию областей повышенного сопротивления, вихрей, снижению эффективности работы системы или ухудшению аэродинамических свойств поверхности. Анализ влияния шероховатости включает в себя проведение экспериментальных и численных исследований. Экспериментальные методы могут включать использование воздушных туннелей, модельных испытаний и измерения аэродинамических характеристик на реальных объектах с различной степенью шероховатости. Численные методы включают в себя математическое моделирование с использованием компьютерных программ и расчетов, которые позволяют визуализировать и анализировать поток воздуха вокруг криволинейной поверхности с учетом шероховатости.

Результаты анализа влияния шероховатости на аэродинамику криволинейной поверхности могут быть использованы для оптимизации дизайна, разработки более эффективных систем и устройств, улучшения аэродинамической производительности, снижения сопротивления, увеличения подъемной силы и улучшения общей эффективности работы. Это имеет практическое применение в различных областях, таких как авиация, автомобильная промышленность, энергетика, ветроэнергетика и другие, где важна оптимизация аэродинамических характеристик поверхностей.

Анализ влияния шероховатости на аэродинамику криволинейной поверхности является сложной и многогранной задачей. Шероховатость поверхности может значительно влиять на поток воздуха вокруг объекта и его аэродинамические

характеристики.

Одним из основных аспектов анализа является определение величины и формы шероховатостей на поверхности и их влияния на течение воздуха. Для этого могут применяться различные методы измерения, такие как профилометрия, оптические методы и измерение давления. Эти методы позволяют получить данные о высоте, ширине и форме шероховатостей, а также их распределении на поверхности объекта. После получения данных о шероховатостях, осуществляется численное моделирование потока воздуха вокруг объекта с учетом шероховатости. В этом случае применяются методы вычислительной гидродинамики (Computational Fluid Dynamics, CFD), которые позволяют анализировать турбулентные потоки и их взаимодействие с поверхностью. CFD-моделирование позволяет получить данные о распределении давления, силы сопротивления, подъемной силы и других аэродинамических характеристик объекта при различных условиях шероховатости.

Результаты анализа влияния шероховатости на аэродинамику могут быть использованы для оптимизации дизайна объектов с криволинейными поверхностями. Они могут помочь улучшить аэродинамическую эффективность, уменьшить сопротивление, увеличить подъемную силу и обеспечить лучшую управляемость объекта в потоке воздуха. Это имеет практическое применение в авиации, автомобильной промышленности, аэрокосмической отрасли и других областях, где аэродинамические характеристики играют важную роль.

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела является определение оптимальных параметров и конфигураций криволинейных поверхностей, которые максимизируют подъемную силу, минимизируют сопротивление или достигают других заданных целей. Для этого применяются методы оптимизации, включая многообразие математических и численных подходов. Кроме того, исследования включают разработку и анализ новых концепций криволинейных поверхностей, которые могут иметь уникальные аэродинамические свойства.

Этапы решения задачи:

- провести анализ конкурентных технических решений;
- провести SWOT – анализ;
- предоставить организацию и планирование работ;
- построить график Ганта;
- провести расчёт материальных затрат, заработных плат, отчисления во внебюджетные фонды, затраты на электроэнергию и амортизационных расходов;
- провести анализ сравнительной эффективности работы.

Научно-исследовательская работа посвящена

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями результатов исследования "Исследование влияния шероховатости на аэродинамику криволинейной поверхности" могут быть:

Авиационные и аэрокосмические компании: Результаты исследования могут быть полезны при разработке и совершенствовании аэродинамических характеристик самолетов, ракет и других летательных аппаратов. Это может помочь повысить эффективность и безопасность полетов.

Автомобильные компании: Исследование может быть применимо и в автомобильной промышленности. Оптимизация аэродинамики автомобилей может улучшить их эффективность, уменьшить потребление топлива и снизить аэродинамический шум.

Производители спортивных снарядов: Компании, занимающиеся производством спортивных автомобилей, велосипедов, гоночных снарядов и других спортивных снарядов, могут заинтересоваться результатами исследования для повышения скорости, маневренности и общей производительности своих изделий.

Исследовательские учреждения и университеты: Ученые и исследователи,

занимающиеся аэродинамикой и технологиями транспортных средств, могут использовать результаты исследования для дальнейших исследований и разработок в этой области.

Государственные организации и регулирующие органы: Результаты исследования могут быть полезны для разработки нормативных актов и стандартов, касающихся аэродинамики и безопасности транспортных средств.

Консалтинговые и инжиниринговые компании: Компании, оказывающие консультационные и инжиниринговые услуги в области аэродинамики и разработки транспортных средств, могут заинтересоваться результатами исследования для поддержки своих проектов и клиентов.

Карта сегментирования рынка по модификации поверхностей представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Карта сегментирования рынка по области применение разработки

Область рынка сбыта	Доля рынка, %
Авиационные и аэрокосмические компании	50
Автомобильные компании	30
Автомобильные компании	20

Применение результатов данного научного исследования позволит занять лидирующее положение в этом сегменте рынка.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

В отличие от других методов печать методом экструзии позволяет получать детали абсолютно разной формы, а также не требует высоки затрат по времени подготовки фидстока. Для изготовления фидстока необходимо ПМ-связующее и целевой материал, при нахождении необходимого соотношения между ними, мы можем начать печать детали, форма которой предварительно изготавливается в редакторе.

Метод экструзии позволяет менять физические характеристики детали непосредственно в момент печати детали благодаря широким настройкам и

параметрам печати. Мы можем регулировать плотность, пористость и форму конечной детали.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки. Для этого была составлена оценочная карта, таблица 4.2.

B_{Φ} – печать мембран из оксида алюминия методом экструзии. B_{K1} – литье под давлением.

Таблица 4.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (исследований)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность		
		B_{Φ}	B_{K1}	$K_{K\Phi}$	K_{K1}	
Технические критерии оценки ресурсоэффективности						
1. Повышение производительности труда пользователя	0.1	4	4	0.4	0.4	
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.05	4	3	0.2	0.15	
3. Помехоустойчивость	0.05	4	2	0.2	0.1	
4. Энергоэкономичность	0.05	4	4	0.2	0.2	
5. Надежность	0.1	4	3	0.4	0.3	
6. Уровень шума	0.05	3	3	0.15	0.15	
7. Безопасность	0.01	5	5	0.05	0.05	
8. Потребность в ресурсах памяти	0.1	4	4	0.4	0.4	
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0.1	5	3	0.5	0.3	
10. Простота эксплуатации	0.05	4	4	0.2	0.2	

11. Качество интеллектуального интерфейса	0.05	4	4	0.2	0.2
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0.01	5	5	0.05	0.05
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	0.05	4	3	0.2	0.15
2. Уровень проникновения на рынок	0.02	5	5	0.1	0.1
3. Цена	0.03	4	4	0.12	0.12
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0.03	4	4	0.12	0.12
5. Послепродажное обслуживание	0.01	4	4	0.04	0.04
6. Финансирование научной разработки	0.08	4	5	0.32	0.4
7. Срок выхода на рынок	0.05	4	4	0.2	0.2
8. Наличие сертификации разработки	0.01	4	4	0.04	0.04
Итого	1	83	77	4.09	3.67

Исходя из таблицы 4.2, конкурентоспособность разработки научного исследования метода экструзии мембран из оксида алюминия (B_{Φ}) составила 4.09, против 3.67 метода литья под давлением (B_{K1}). Полученные данные свидетельствуют о превосходстве научно-технической разработки (B_{Φ}) по критериям: удобство в эксплуатации, помехоустойчивость, надёжность, функциональная мощность и конкурентоспособность продукта. Применение метода экструзии мембран (B_{Φ}) позволяет добиться более широких свойств конечного продукта, в отличие от конкурирующего метода литья под давлением (B_{K1}). Данный метод (B_{Φ}) имеет более широкую область применения в промышленности.

4.1.3 SWOT – анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Цель SWOT-анализа раскрыть сильные и слабые стороны, выявить риски, определить возможности для улучшения.

Результаты SWOT анализа представлены в таблице 4.3

Таблица 4.3 – SWOT анализ

	Сильные стороны:	Слабые стороны:
	С1. Широкий спектр используемых материалов;	Сл1. Высокая стоимость оборудования установки;
	С2. Значительное повышение структурно-механических свойств материалов;	Сл2. Отсутствие современных отечественных принтеров;
	С3. Длительный срок эксплуатации изготовленных деталей;	Сл3. Необходимость квалифицированных специалистов для обслуживания оборудования;
	С4. Высокая точность печати;	Сл4. Продолжительная настройка параметров при смене фидстока;
	С5. Относительная	Сл5. Постепенное

	дешевизна процесса изготовления фидстока.	устаревание программного обеспечения и необходимость своевременного обновления.
--	-------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------

Продолжение таблицы 4.3

Возможности:		
В1. Государственная поддержка проектов по модернизации объектов промышленности;	Привлечение государственных и частных средств на модернизацию оборудования. Большая вариативность параметров печати.	Применение материалов отечественных производителей. Государственное субсидирование.
В2. Использование расходных материалов отечественного производителя;	Повышение конкурентоспособности на рынке. Высокая детализация печати деталей.	Обучение специалистов для обслуживания принтера. Унификация и стандартизация проектов для упрощения обновления оборудования.
В3. Снижение стоимости исследований за счет использования метода экструзии;		
В4. Получить государственный заказ на изготовления образцов		
Угрозы:		
У1. Рост стоимости импортных комплектующих;	Использование отечественного оборудования для эксплуатации установки. Появление	Модернизация с использованием отечественного оборудования сократит конечную стоимость
У2. Появление новых конкурентных		

технических решений;	конкурентных	услуги. Повышение
У3. Низкий спрос на рынке, обусловленный экономической ситуацией;	технических решений для снижения стоимости и повышению	квалификации специалистов. Использование результатов научного
У4. Коммерческая неудача вследствие малого спроса	качественных показателей. Внедрение численного моделирования для поиска оптимальных параметров печати. Использование особенностей метода экструзии для получения деталей с высоким качеством детализации.	исследования для повышения конкурентоспособности на рынке. Заключение договоров на оказание услуг в сфере водородной энергетики, машиностроения и/или ядерной энергетики

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта					Слабые стороны проекта				
		С1	С2	С3	С4	С5	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
Возможности проекта	В1	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-
	В2	+	0	0	+	+	+	+	-	-	-
	В3	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-
	В4	+	+	+	+	+	+	-	+	0	-
Угрозы проекта	У1	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+
	У2	+	+	+	+	+	-	0	-	-	-
	У3	+	+	+	0	+	-	0	-	-	-
	У4	+	+	+	+	+	+	0	-	-	+

выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

Приведённый анализ показал, что технология, находясь на этапе разработки, имеет хорошие шансы на коммерциализацию, с учетом проявляемого интереса партнеров и удачных исследований. При этом если переход разработки в стадию коммерциализации затянется, то возможна потеря спроса на готовую технологию.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

В данном разделе отражено распределение времени и трудового вклада участников исследовательской работы. Перечень этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, инженер
	3	Проведение патентных исследований	Руководитель, инженер
	4	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение теоретических расчетов	Руководитель, инженер
	7	Составление порядка эксперимента, выбор режимов печати	Руководитель, инженер, сотрудник-техник

	8	Изготовление исследуемых образцов	Инженер
	9	Проведение экспериментов	Руководитель, инженер, сотрудник-техник

Продолжение таблицы 4.5

Теоретические и экспериментальные исследования	10	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, инженер
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, инженер
	12	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, инженер

Данная таблица отображает вклад каждого участника исследовательской работы. Наибольшая часть работы приходится на инженера (магистранта).

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Определяющим фактором выражения основной части стоимости научно-технической разработки являются заработные платы лиц, задействованных в реализации проекта. В связи с этим, наиболее важным моментом является максимально точное определение трудоемкости работ каждого из участников проекта.

Для определения трудоёмкости реализации научного исследования выпускной квалификационной работы используется экспертный способ, основным показателем которого является человеко-день. Для расчёта предлагаемого значения трудоёмкости используют следующую формулу

$$t_{ож} = \frac{3t_{\min} + 2t_{\max}}{5}, \quad (4.1)$$

где $t_{ож}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения работы, чел.дн.; t_{\min} –

минимально возможная трудоёмкость выполнения работы, чел.дн.; t_{max} – максимально возможная трудоёмкость выполнения работы, чел.-дн.

Оценка трудоёмкости выполнения научного исследования для научного руководителя:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot 43 + 2 \cdot 91}{5} = 62.2 \text{ чел.-дн.}$$

Трудоёмкость выполнения научного исследования для сотрудника – техника:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot 6 + 2 \cdot 18}{5} = 10.8 \text{ чел.-дн.}$$

Трудоёмкость выполнения научного исследования для инженера:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot 54 + 2 \cdot 117}{5} = 79.2 \text{ чел.-дн.}$$

Далее определим продолжительность каждого этапа работы в рабочих днях $T_{рд}$:

$$T_{рд} = \frac{t_{ож_i}}{K_{вн}} \cdot K_{д} \quad (4.2)$$

где $T_{рд}$ – продолжительность одного этапа работы, раб.дн.; $K_{вн}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение определенных длительностей, $K_{вн}=1$; $K_{д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ, $K_{д} = 1$.

Произведем длительно работ в рабочих днях.

Расчёт продолжительности работы выполнения научного исследования для научного руководителя:

$$T_{рд} = \frac{t_{ож}}{K_{вн}} \cdot K_{д} = \frac{62.2 \text{ чел.-дн.}}{1} \cdot 1 = 62.2 \text{ раб.дни}$$

Продолжительность работы выполнения научного исследования для сотрудника-техника:

$$T_{рд} = \frac{10.8 \text{ чел.-дн.}}{1} \cdot 1 = 10.8 \text{ раб.дни}$$

Продолжительность работы выполнения научного исследования для инженера:

$$T_{рд} = \frac{79.2 \text{ чел.-дн.}}{1} \cdot 1 = 79.2 \text{ раб.дни}$$

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Ленточный график проведения научных работ изображается в форме диаграммы Ганта. Для построения диаграммы необходимо перевести рабочие дни в календарные дни, для чего воспользуемся следующим соотношением:

$$T_{кд} = T_{рд} \cdot T_{к}, \quad (4.3)$$

где $T_{кд}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях; $T_{к}$ – коэффициент календарности, определяющийся выражением 4.4.

$$T_{к} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вд} - T_{пд}}, \quad (4.4)$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году; $T_{вд}$ – количество выходных дней в году; $T_{пд}$ – количество праздничных дней.

Рассчитаем коэффициент календарности для шестидневной рабочей недели по формуле 4.4:

$$T_{к} = \frac{365}{365 - 54} = 1.17$$

Построим таблицу по результатам расчётов, в которой укажем трудоёмкости работ, название работы, а также укажем длительность работ в рабочих и календарных днях, таблица 4.6.

Таблица 4.6 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ									Длит. работ в раб. дни			Длит. работ в кален. дни		
	t_{min} , чел.-дн			t_{max} , чел.-дн			$t_{ож}$, чел.-дн			$T_{рд}$			$T_{кд}$		
	НР	СТ	ИН	НР	СТ	ИН	НР	СТ	ИН	НР	СТ	ИН	НР	СТ	ИН
Составление и утверждение технического задания	2	-	-	4	-	-	2.8	-	-	2.8	-	-	3.3	-	-
Подбор и изучение	10	-	10	21	-	30	14.	-	18	14.	-	18	16.	-	21.
							4			4			8		63

материалов по теме															
Проведение патентных исследований	5	-	7	8	-	15	6.2	-	10.2	6.2	-	10.2	7.3	-	12.0
Выбор направления исследований	3	-	5	4	-	7	3.4	-	5.8	3.4	-	5.8	4.0	-	6.8
Календарное планирование работ по теме	2	-	3	3	-	4	2.4	-	3.4	2.4	-	3.4	2.8	-	4.0
Проведение теоретических расчетов и обоснований	4	-	7	6	-	10	4.8	-	8.2	4.8	-	8.2	5.6	-	9.6
Составление порядка эксперимента, выбор технических режимов	1	1	2	3	3	4	1.8	1.8	2.8	1.8	1.8	2.8	2.1	1.8	3.3
Изготовление исследуемых образцов	-	-	2	-	-	3	-	-	2.4	-	-	2.4	-	-	2.8
Проведение эксперимента	5	5	5	15	15	15	9	9	9	9	9	9	10.5	9	10.65

ов															
Сопоставлен ие результатов эксперимент ов с теоретическ ими исследования ми	5	-	7	10	-	12	7	-	9	7	-	9	8.2	-	10. 5
Оценка эффективно сти полученных результатов	3	-	3	10	-	10	5.8	-	5.8	5.8	-	5.8	6.7	-	6.7
Определени е целесообраз ности проведения ОКР	3	-	3	7	-	7	4.6	-	4.6	4.6	-	4.6	5.4	-	5.3
Итог	43	6	54	91	18	11	62.	10.	79.	62.	10.	79.	72.	10.	92.
						7	2	8	2	2	8	2	8	8	7

На основе таблицы 4.6, построен календарный план-график исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта, с разбивкой по месяцам и декадам. График строится для максимального по длительности исполнения работ. Отмечены области в зависимости от исполнителей, ответственных за конкретную работу, таблица 4.7.

Таблица 4.7 – Календарный план-график (график Ганта) проведения НИОКР

№	Вид работ	Исполните	T _{Ki}	Продолжительность выполнения работ	65
---	-----------	-----------	-----------------	------------------------------------	----

	ми исследования ми																		
11	Оценка эффективност и полученных результатов	Руководит ель	10																
		Инженер	10																
12	Определение целесообразн ости проведения ОКР	Руководит ель	7																
		Инженер	7																

где красным цветом обозначен руководитель темы, зеленым инженер (магистрант), желтым сотрудник-техник.

Были определены длительности и обозначены сроки выполнения всех запланированных видов работ. Был построен график Ганта, наглядно иллюстрирующий этапы выполнения проекта участниками.

4.3 Бюджет научно-технического исследования

4.3.1. Расчёт материальных затрат исследования

Расчёт материальных затрат включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта, таблица 4.8.

Таблица 4.8 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Кол-во	Цена за ед., руб.	Сумма, руб.
аэродинамические стенды	шт	2	8000	16000
проточные камеры	шт	10	700	7000
приборы	шт	10	110	1100
датчики давления	шт	1	1650	1650

Халат	шт	1	1570	1570
программный обеспечения	шт	1	10000	10000
измерительные приборы	шт	4	800	800
инструменты для измерения шероховатости	шт	4	115	460
Итого				42788

По полученным данным, наибольшие расходы приходятся на расходные материалы.

4.3.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Используемые при выполнении ВКР: научно-исследовательская вакуумная установка, персональный компьютер, принтер Vizon2, отрезной станок Brilliant 201, шлифовальная машина Saphir 320, растровый электронный микроскоп Hitachi S-3400 N и профилометр STIL 3D Micromesure – в материальных затратах не учитывались, так как имелись в оснащении лаборатории. В связи, с чем рассчитаем их амортизационные отчисления.

Проведем расчет амортизации использованного оборудования на примере осциллографа Vizon2. Первоначальная стоимость 160000 рублей; срок полезного использования для принтера, согласно общероссийскому классификатору основных фондов, составляет 3-5 лет, код 143312467; Время работы на всём оборудовании не превышало одного месяца за все время исследования. Тогда:

- норма амортизации:

$$H_a = \frac{1}{n} \cdot 100\% = \frac{1}{5} \cdot 100\% = 20\%, \quad (4.5)$$

где H_a – норма амортизации в процентах; n – срок полезного использования в годах.

- годовые амортизационные отчисления:

$$A_r = 160000 \cdot 0.2 = 32000 \text{ рублей}$$

- ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_M = \frac{32000}{12} = 2667 \text{ рублей}$$

- итоговая сумма амортизации основных средств:

$$A = 2667 \cdot 1 = 2667 \text{ рублей}$$

Также произведем расчет для остального оборудования и занесем полученные данные в таблицу 4.9.

Таблица 4.9 – Расчеты амортизационных отчислений

Наименование	Первонач. Цена, руб.	Норма аморти., %	Годовые аморти. отчисл., руб.	Ежемесяч. аморти. отчисл., руб.	Затраты, руб.
Принтер Vizon2	160000	20	32000	2667	2667
Вакуумная установка	7000000	14.3	1001000	83417	83417
Отрезной станок Brilliant 201	260000	10	26000	2167	2167
Шлифовальная машина Saphir 320	300000	10	30000	2500	2500
РЭМ Hitachi S-3400 N	1500000	14.3	214500	17875	17875
Профилометр	1350000	14.3	193050	16088	16088

4.3.3. Основная заработная плата исполнителей исследования

Для вычисления основной заработной платы необходимо учесть научных и инженерно-технических работников, участвующих в выполнении выпускной квалификационной работы (включая премии и доплаты)

Основная заработная плата работников вычисляется по формуле:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (4.6)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20% от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата руководителя:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \quad (4.7)$$

где T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.; $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывалась по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d} \quad (4.8)$$

где Z_M – месячный должностной оклад работника, руб; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

В таблице 4.10 представлен годовой баланс рабочего времени для 6-дневной рабочей недели.

Таблица 4.10 – Баланс рабочего времени (для 6-дневной недели)

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер	Техник
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней			
- выходные дни	67	67	67
- праздничные дни	14	14	14
Потери рабочего времени			
- отпуск	56	28	28
- невыходы по болезни	1	1	1
Действительный годовой фонд рабочего времени	227	255	255

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле:

$$Z_M = Z_{ТС} \cdot k_p, \quad (9)$$

где $Z_{ТС}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для г. Томска). Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Расчёт основной заработной платы

Исполнитель	$Z_{ТС}$, руб.	Z_M , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
					71

Руководитель	26500	34450	1419.45	62.2	88289.79
Сотрудник-техник	16500	21450	883.81	10.8	9545.15
Инженер	16500	21450	883.81	79.2	58997.75
Итого					167 832.69

В таблице 4.11 представлены данные по затратам на заработную плату сотрудников за весь период ВКР.

4.3.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (4.9)$$

где, $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0.12-0.15).

Дополнительная заработная плата руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = 0.13 \cdot 88289.79 = 11477.67 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата сотрудника-техника:

$$Z_{\text{доп}} = 0.13 \cdot 9545.15 = 1240.87 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата инженера (магистранта):

$$Z_{\text{доп}} = 0.13 \cdot 69997.75 = 9\,099.7 \text{ руб.}$$

Суммарная дополнительная заработная плата равна 21818.24 рублей.

4.3.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Ставка отчислений во внебюджетные фонды для учреждений, осуществляющих научную и образовательную деятельность, на 2023 год составляет 30% (ПФ – 22%, ФФОМС – 5.1%, ФСС – 2.9%)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из

следующей формулы:

$$Z_{внеб.} = k_{внеб.} \cdot (Z_{осн.} + Z_{доп}) \quad (10)$$

где: $k_{внеб.}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Расчет отчислений во внебюджетные фонды:

$$Z_{внеб.} = (167\,832.69 + 21\,818.24) \cdot 0.3 \approx 56\,895.28 \text{руб.}$$

4.3.6. Расчет затрат на научные и производственные командировки

При проведении научно-исследовательской работы в научных и производственных командировках не было необходимости.

4.3.7. Накладные расходы (расчёт затрат на электроэнергию)

Потребляемая мощность анализатора составляет 7 кВт/час. Длительность еженедельной работы на комплексной технологической установке составляет 2 часа. Стоимость электроэнергии в Томске составляет 5.748 рубля за 1 кВт/час. Стоимость электропотребления за 5 месяцев рассчитывается по формуле:

$$C_{эл.об.} = P_{об.} \cdot Ц_{э} \cdot t_{об.}, \quad (4.11)$$

где $P_{об.}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт; $Ц_{э}$ – тариф на 1 кВт·час; $t_{об.}$ – время работы оборудования, час.

Затраты на электроэнергию для технологических целей приведены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Время работы оборудования	Потребляемая мощность $P_{об.}$, кВт	Затраты $C_{эл.об.}$, руб.
Персональный компьютер	646	0.3	1113.96
Комплексная технологическая установка	40	7	1609.44
Итого			2723.4

4.3.8. Формирование бюджета затрат

Расчет бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Удельный вес, %
Материальные затраты НИИ	28788.00	9,28
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	124714.00	40,20
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	167 832.69	54,10
Затраты на дополнительной заработной плате исполнителей темы	21818.24	7,03
Отчисления во внебюджетные Фонды	56 895.28	18,34
Затраты на научные и производственные командировки	-	-
Накладные расходы	2732.4	0,88
Итого: бюджет затрат НИИ	310236.5	100

4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчёта интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат двух (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчёта, с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по следующей

формуле:

$$I_{\text{ФИНР}}^{\text{ИСП}i} = \frac{\Phi_{Pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.12)$$

где Φ_{Pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта; $I_{\text{финр}}$ – интегральный финансовый показатель разработки.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.13)$$

В таблице 4.14 представлена сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта. Данный проект сравнивается с методикой качественного анализа материалов, заложенной в программе как базовая.

Таблица 4.14 – Сравнительная оценка характеристик

Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Разработка	Базовая методика
Способствует росту производительности труда	0.25	5	5
Соответствует требованиям потребителей	0.15	4	4
Энергосбережение	0.2	4	3
Надежность	0.2	4	4
Материалоемкость	0.2	5	4
Итого I_{pi}		4.45	4.25

Характеристики имеют схожие критерии, так как методики реализованы для одного прибора. Каждая из представленных методик реализована для определённой задачи.

Пример расчёта интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_p = \frac{I_{pp}}{I_{\text{финр}}^p} = \frac{0.25 \cdot 5 + 0.15 \cdot 4 + 0.2 \cdot 4 + 0.2 \cdot 4 + 0.2 \cdot 5}{1} = 4.45$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по следующей формуле:

$$I_{ИСП} = \frac{I_{Рi}}{I_{ФИН,р}}, \quad (4.14)$$

Сравнительная эффективность проекта определяется по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_{CP} = \frac{I_{Д.П.}}{I_{ИСП}}, \quad (4.15)$$

В таблице 4.15 представлена сравнительная эффективность данного проекта с базовой методикой качественного анализа материалов.

Таблица 4.15 – Сравнительная эффективность

Показатели	Разработка	Базовая методика
Интегральный финансовый показатель	1	1
Интегральный ресурсоэффективности показатель	4.45	4.25
Интегральный показатель эффективности	4.45	4.25
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1.05	0.95

Как видно из таблицы 4.15, разработанная методика эффективнее базовой. Традиционная оценка экономической эффективности полученных результатов невозможны, т.к. они носят чисто научный характер.

Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

1. В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент» был проведен анализ конкурентоспособности создания мембран из оксида алюминия методом экструзии, была подтверждена перспективность данного метода.

2. Проведённый SWOT-анализ проекта, раскрыл сильные и слабые стороны, выявил риски, а также определил возможности для улучшения.

3. Установлено, что в календарных днях длительность работ для научного руководителя составило 72.8 дней, для сотрудника-техника 10.8, а для инженера 2.7

дней.

4. На основе временных показателей по каждой из произведенных работ был построен календарный план-график Ганта, по которому можно увидеть, что самая продолжительная по времени работа – подбор и изучение материалов.

5. Бюджет затрат научно-технического исследования составил 310236.5 рублей. Наибольшая статья расходов приходится на амортизационные отчисления, в связи с большим количеством дорогостоящего специального оборудования (40.2%). На втором месте затраты на основную заработную плату (33.79%).

6. Определены показатели ресурсоэффективности, интегральный финансовый показатель, интегральный показатель эффективности и сравнительная эффективность вариантов исполнения, значения которых свидетельствуют о достаточно высокой эффективности реализации технического проекта.

5. Социальная ответственность

Введение

Социальная ответственность играет важную роль в научных исследованиях, включая исследования влияния шероховатости на аэродинамику криволинейной поверхности. В современном мире все больше признается важность учета социальных и экологических аспектов при проведении научных исследований, в том числе в области аэродинамики.

Социальная ответственность научных исследований подразумевает не только стремление к достижению научных результатов, но и учет и управление возможными влияниями на общество и окружающую среду. В случае исследования влияния шероховатости на аэродинамику криволинейной поверхности, речь идет о более глубоком понимании и минимизации потенциальных негативных последствий этого влияния.

Одной из основных целей исследования является определение влияния шероховатости на аэродинамические характеристики криволинейной поверхности. Это может помочь разработчикам и инженерам создать более эффективные и безопасные системы, основанные на аэродинамических принципах.

Однако, проведение таких исследований должно также учитывать социальные и

экологические аспекты. Возможные негативные последствия, такие как загрязнение окружающей среды или возникновение новых проблем безопасности, должны быть идентифицированы и минимизированы. Кроме того, ученые и исследователи должны обеспечить прозрачность и доступность результатов своих исследований для широкой общественности.

Таким образом, социальная ответственность в исследованиях влияния шероховатости на аэродинамику криволинейной поверхности заключается в постоянном стремлении к достижению научных результатов, с учетом потенциальных влияний на общество и окружающую среду. Это позволяет создавать инновационные решения, способствующие устойчивому развитию и обеспечению безопасности воздушной и промышленной техники.

5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:

Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации исследования влияния шероховатости на аэродинамику криволинейной поверхности являются важными аспектами данной темы. Вот некоторые из них:

Соблюдение нормативных требований: При проведении исследования необходимо учитывать соответствующие нормы и стандарты, определенные законодательством в области безопасности. Важно соблюдать требования по защите труда, пожарной безопасности, экологической безопасности и другие применимые нормы.

Оценка рисков: Перед началом исследования следует провести оценку возможных рисков, связанных с эксплуатацией исследуемой системы. Это включает выявление потенциальных опасностей, оценку вероятности их возникновения и определение мер по управлению рисками.

Разработка безопасных процедур: Необходимо разработать и внедрить безопасные рабочие процедуры для проведения исследования. Это может включать инструкции по правильному использованию оборудования, обучение персонала в области безопасности и установление протоколов действий в случае чрезвычайных ситуаций.

Оборудование и инфраструктура: Для обеспечения безопасности при эксплуатации исследования необходимо обеспечить соответствующее оборудование и инфраструктуру. Это может включать специальные системы вентиляции, пожаротушение, аварийное отключение, а также проверку и обслуживание оборудования согласно установленным требованиям.

Обучение и осведомленность персонала: Персонал, работающий в рабочей зоне исследования, должен быть обучен по вопросам безопасности и должен иметь осведомленность о потенциальных опасностях и процедурах предотвращения несчастных случаев. Регулярное обновление знаний и навыков также является важным.

Мониторинг и анализ: В процессе эксплуатации исследования необходимо осуществлять систематический мониторинг и анализ безопасности.

Продолжая обсуждение правовых и организационных вопросов обеспечения безопасности при эксплуатации исследования влияния шероховатости на аэродинамику криволинейной поверхности, следует уделить внимание следующим аспектам:

Мониторинг и анализ: В процессе эксплуатации исследования необходимо осуществлять систематический мониторинг и анализ безопасности. Это включает регулярные проверки состояния оборудования, контроль рабочей среды, анализ данных и выявление любых отклонений или потенциальных проблем безопасности. Результаты мониторинга и анализа должны использоваться для принятия соответствующих мер и улучшения системы безопасности.

Система управления безопасностью: Рекомендуется разработать и внедрить систему управления безопасностью, которая будет включать политику безопасности, роли и обязанности персонала, процедуры управления рисками, тренинги и обучение персонала, а также систему обратной связи и улучшений. Это позволит обеспечить непрерывное улучшение безопасности и реагирование на изменения и новые требования.

Соблюдение регулирующих норм и стандартов: Исследование должно быть проведено в соответствии с применимыми регуливающими нормами и стандартами в области безопасности. Это может включать международные стандарты, национальные

законы и правила, а также промышленные стандарты. Соблюдение этих норм и стандартов поможет обеспечить безопасность исследования и защиту интересов всех заинтересованных сторон.

Взаимодействие с заинтересованными сторонами: Важно взаимодействовать с различными заинтересованными сторонами, включая руководство организации, сотрудников, специалистов по безопасности, регулирующие органы и сообщество.

Обеспечение обучения и осведомленности: Все работники, занятые в рабочей зоне исследования, должны быть обучены вопросам безопасности и осведомлены о правилах и процедурах, связанных с эксплуатацией исследуемой системы. Это включает обучение по правилам работы с оборудованием, управлению рисками, процедурам эвакуации и действиям в чрезвычайных ситуациях. Регулярные тренинги и обновление знаний помогут поддерживать высокий уровень безопасности.

Документирование и отчетность: Все аспекты безопасности, связанные с эксплуатацией исследования, должны быть документированы и учетные записи должны быть хранены в соответствии с требованиями. Это включает процедуры, инструкции, проверки, мониторинг, обучение и другую связанную информацию. Регулярная отчетность по вопросам безопасности позволит контролировать соблюдение требований и принимать меры по улучшению безопасности, если это необходимо.

Аудиты и проверки соответствия: Регулярные аудиты и проверки соответствия помогут убедиться, что все меры безопасности соответствуют установленным требованиям и правилам. Это может включать внутренние аудиты, независимые проверки и ревизии со стороны регулирующих органов. Результаты аудитов должны использоваться для внесения улучшений и корректировки системы безопасности, если это необходимо.

Управление чрезвычайными ситуациями: Необходимо разработать и реализовать планы чрезвычайных ситуаций, которые будут определять действия персонала в случае аварий, пожаров или других нештатных ситуаций. Это включает определение ролей и обязанностей, систему оповещения и эвакуации, использование средств пожаротушения и других мер по предотвращению или уменьшению последствий чрезвычайных ситуаций.

Постоянное изучение новых технологий, методов и научных достижений в области безопасности поможет обновлять и совершенствовать систему безопасности при эксплуатации исследования. Регулярные обзоры и анализ инцидентов, а также обратная связь от работников и других заинтересованных сторон, позволят выявлять уязвимые места и предпринимать меры для их устранения. Внедрение современных методов и технологий, таких как автоматизация, удаленное наблюдение и управление, анализ больших данных и искусственный интеллект, может способствовать повышению эффективности и безопасности процессов.

В целом, эффективное обеспечение безопасности при эксплуатации исследования, связанного с исследованием влияния шероховатости на аэродинамику криволинейной поверхности, требует комплексного подхода, включающего соблюдение норм и стандартов, разработку безопасных процедур, обучение персонала, регулярный мониторинг и анализ, сотрудничество с заинтересованными сторонами, аудиты и проверки соответствия, управление чрезвычайными ситуациями и стремление к непрерывному улучшению безопасности. Это поможет обеспечить безопасную и продуктивную эксплуатацию исследования и минимизировать риски для работников и окружающей среды.

Трудовой кодекс РФ устанавливает права и обязанности работника и работодателя, правила нормирования и оплаты труда, трудоустройство, вопросы охраны труда. Обеспечение прав работников на охрану труда включает права и гарантии на обеспечение условий, соответствующих требованиям. В статье 219 трудового кодекса РФ детализированы права работников, согласно которым у каждого работника должно быть рабочее место, соответствующее правилам охраны труда. Государство гарантирует работникам защиту их права на труд в условиях, соответствующих требованиям охраны труда (ТК РФ Статья 220). Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты, а также оснащения рабочих мест средствами коллективной защиты (ТК РФ Статья 221).

Согласно ГОСТ 12.2.032-78. «Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» стол должен соответствовать современным требованиям эргономика и позволять расположить на

рабочей поверхности все необходимое оборудование, в зависимости от характера выполняемой работы. Соответствие рабочего места требованиям ГОСТ 12.2.032-78 представлено в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Требования к организации рабочего места

Требование	Требуемое значение	Значение параметров в помещении
Высота рабочей поверхности стола	Регулируемая высота (680-800 мм) Нерегулируемая высота (более 725 мм)	Нерегулируемая высота 750 мм
Рабочий стул (кресло)	Подъемноповоротный, регулируемый по высоте и углу наклона спинки	Не соответствует
Расположение монитора от глаз пользователя	600-700 мм	Соответствует

Для выполнения всех требований нормативных актов по организации рабочего места лаборатории необходимо подать заявку на приобретения рабочего стула с функциями регулировки по высоте и углу наклона спинки для профилактики монотонии и переутомления.

5.2. Производственная безопасность при эксплуатации:

Производственная безопасность при эксплуатации исследования, связанного с исследованием влияния шероховатости на аэродинамику криволинейной поверхности, является важным аспектом, чтобы обеспечить безопасную работу персонала и предотвратить возможные производственные инциденты. Ниже приведены некоторые меры, которые могут быть предприняты для обеспечения производственной безопасности:

Оценка рисков: Проведите тщательную оценку рисков, связанных с эксплуатацией исследования. Идентифицируйте потенциальные опасности, связанные с работой с оборудованием, материалами, инструментами и химическими веществами. Разработайте процедуры и меры по предотвращению и управлению рисками.

Использование защитного оборудования: Обеспечьте работников необходимыми средствами индивидуальной защиты (СИЗ), такими как защитные очки, перчатки, респираторы и другие, в зависимости от рисков и требований безопасности. Все работники должны быть обучены и должны строго соблюдать правила использования СИЗ.

Обучение и инструктаж: Предоставьте обучение и инструктаж работникам, занятым в эксплуатации исследования. Обучите их правилам безопасной работы, процедурам эксплуатации оборудования, управлению рисками и действиям в чрезвычайных ситуациях. Регулярно проводите повторные обучения и проверки знаний.

Поддержание оборудования в исправном состоянии: Регулярно проверяйте и обслуживайте оборудование, используемое в исследовании, чтобы гарантировать его надлежащую работу и безопасность. В случае обнаружения дефектов или неисправностей, принимайте меры по их исправлению или замене.

Управление химическими веществами: Если в исследовании используются химические вещества, обеспечьте их правильное хранение, маркировку и обращение с ними. Следуйте указаниям производителей и соответствующим правилам безопасности при работе с опасными веществами. Обеспечьте доступ к необходимым средствам для ликвидации утечек и предотвращения загрязнения окружающей среды.

Система управления безопасностью: Разработайте и реализуйте систему управления безопасностью, включающую политику безопасности, стандарты производственной безопасности, процедуры и инструкции. Определите ответственных лиц и создайте механизмы для отслеживания соблюдения правил безопасности и непрерывного улучшения безопасности процессов.

Система отчетности и анализа инцидентов: Установите механизмы отчетности о производственных инцидентах и близких к ним ситуациях. Проводите анализ причин инцидентов и предпринимайте меры по предотвращению их повторения. Регулярно

проводите проверки и аудиты производственной безопасности для выявления слабых мест и внесения соответствующих улучшений.

Сотрудничество с заинтересованными сторонами: Вовлекайте работников, профсоюзы и другие заинтересованные стороны в процессы обеспечения производственной безопасности. Учитывайте их мнения и предложения при разработке и внедрении мер безопасности. Организуйте обмен опытом и передачу знаний в области безопасности.

Непрерывное улучшение: Старайтесь постоянно улучшать систему производственной безопасности, основываясь на анализе результатов, обратной связи и изменениях в технологиях и стандартах безопасности. Внедряйте инновационные подходы и технологии для повышения эффективности и безопасности процессов исследования.

При соблюдении вышеперечисленных мер по обеспечению производственной безопасности можно минимизировать риски и обеспечить безопасную эксплуатацию исследования, связанного с влиянием шероховатости на аэродинамику криволинейной поверхности. Однако, следует отметить, что конкретные меры безопасности могут различаться в зависимости от специфики и условий работы с конкретной криволинейной поверхностью и шероховатостью.

Некоторые из дополнительных мер безопасности, которые могут применяться, включают:

Изолирование рабочей зоны: Ограничьте доступ к рабочей зоне только авторизованному персоналу, обеспечивая физическую изоляцию исследуемой поверхности от посторонних лиц. Это поможет предотвратить возможные травмы или неправильное использование оборудования.

Оценка рисков: Проведите систематическую оценку рисков, связанных с исследованием влияния шероховатости на аэродинамику криволинейной поверхности. Идентифицируйте потенциальные опасности, такие как возможные повреждения оборудования, риски пожара или взрыва, и разработайте соответствующие меры по управлению рисками.

Использование защитного оборудования: Обеспечьте работников необходимыми средствами индивидуальной защиты (СИЗ) в соответствии с определенными рисками.

Возможными средствами защиты могут быть защитные очки, защитные костюмы, перчатки, респираторы и другие.

Обучение и инструктаж: Обеспечьте обучение и инструктаж персонала, занятого в исследовании, относительно безопасных методов работы, процедур эксплуатации оборудования и мер безопасности, связанных с шероховатостью и аэродинамикой. Все работники должны быть осведомлены о потенциальных опасностях и знать, как правильно использовать СИЗ.

Соблюдение стандартов и регулирований: Убедитесь, что исследование проводится в соответствии с применимыми стандартами и регулированиями, связанными с безопасностью исследовательских процессов.

Анализ возможных вредных и опасных факторов при работе в научной лаборатории перспективных материалов представлен в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Возможные вредные и опасные факторы

Факторы		Нормативные документы	
Опасные	Электробезопасность (Поражение электрическим током)	ГОСТ 12.1.009-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ) ГОСТ Р12.1.019-2017 Электробезопасность ГОСТ 12.1.038-82 «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов»	ССБТ ССБТ.
	Производственный травматизм	ГОСТ 12.2.003-91 Производственное. Общие требования безопасности. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)	ССБТ. Оборудование
Вредные	Отклонение показателей микроклимата	ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений	и в 85

Недостаточная освещенность рабочей зоны	СНиП 23-05-95*. Естественное и искусственное освещение (с Изменением №1 СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий).
Повышенный уровень шума	ГОСТ 12.1.003-83. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (с Изменением № 1)
Пожарная опасность	СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (в ред. изм. № 1, утв. приказом МЧС России от 09.12.2010 № 643) ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования
Перенапряжения зрительного анализатора	ГОСТ 12.0.230-2007 ССБТ. Системы управления охраной труда. Общие требования СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»
Монотонность труда	MP 2257-80 Рекомендации по устранению и предупреждению неблагоприятного влияния монотонии на работоспособность человека в условиях современного производства Дата актуализации:

В деятельности лаборатории широко используется электричество, которое при замыкании электрической цепи может быть опасным источником для организма человека. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов,

согласно ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов» представлены в таблице 5.2.1.

Таблица 5.2.1 Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов

Род тока	U, В	I, mA
	Не более	
Переменный, 50 Гц	2.0	0.3
Переменный, 400 Гц	3.0	0.4
Постоянный	8.0	1.0

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице. Средствами защиты от воздействия электрического тока являются: изолирующие устройства и покрытия, предохранительные устройства, устройства автоматического отключения, предупредительная сигнализация, знаки безопасности

Требования к производственному оборудованию согласно ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ: конструкция производственного оборудования и его отдельных частей должна исключать возможность их падения, опрокидывания и самопроизвольного смещения при всех предусмотренных условиях эксплуатации.

Микроклимат производственных помещений определяется действующими на организм человека температурой, относительной влажностью и скоростью движения воздуха, а также температурой окружающих поверхностей.

Длительное воздействие на человека неблагоприятного микроклимата резко ухудшает его самочувствие, снижает производительность труда и приводит к заболеваниям. Воздействие высокой температуры и влажности быстро утомляет, может привести к перегреву организма, повышению артериального давления, обезвоживанию организма. Понижение температуры и повышение скорости движения воздуха способствуют усилению конвективного теплообмена и процесса теплоотдачи при испарении пота, что может привести к переохлаждению организма, частым

респираторным заболеваниям. Оптимальные и допустимые метеорологические условия температуры и влажности устанавливаются согласно СанПиН 2.2.4.548-96. Оптимальные показатели микроклимата на рабочих местах производственных помещений приведены в таблице 5.2.3.

Таблица 5.2.3 – Оптимальные показатели микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	I _a (до 139)	22-24	21-25	60-40	Не более 0.1
Теплый	I _a (до 139)	23-25	22-26	60-40	Не более 0.1

Оптимальные микроклиматические условия обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах. Недостаточная освещенность рабочей зоны вызывает нарушение работы зрительного аппарата и общее утомление, может быть причиной головных болей, снижает производительность труда. Оптимальная освещенность производственных помещений и рабочей зоны обеспечивает гигиенические условия для работающего персонала. Правильно подобранные и расположенные источники света повышают эффективность труда, предотвращают заболевания персонала и минимизируют риски нарушения техники безопасности.

По способу размещения и распределению освещенности применяют общее и комбинированное освещение. Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПК должно осуществляться системой общего равномерного освещения.

В случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения, когда к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники, предназначенные для освещения зоны расположения

документов. Устройство только местного освещения недопустимо, так как оно создает большую разность освещенности рабочих поверхностей и окружающего пространства, что неблагоприятно сказывается на зрении, согласно СНиП 23-05-95*.

Окна в помещениях, где эксплуатируется вычислительная техника, должны быть ориентированы на север и северо-восток. Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения в соответствии с СанПиНом 2.2.1/2.1.1.1278-03 указаны в таблице 5.2.5.

Таблица 5.2.5 Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения

Помещение	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности (Г-горизонтальная, В-вертикальная) и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение		Совмещенное освещение	
		КЕО e_n , %		КЕО e_n , %	
		При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении
Кабинеты, рабочие комнаты, офисы, представительства	Г-0.8	3.0	1.0	1.8	0.6
					89

Помещение	Искусственное освещение				
	Освещенность, Лк				
	При комбинированном освещении		При общем освещении	Показатель дискомфорта, М, не более	Коэффициент пульсации освещенности, Кп %, не более
	Всего	От общего			
Кабинеты, рабочие комнаты, офисы, представительства	400	200	30	40	15

Характеристика помещения лаборатории: длина = 7 м; ширина = 5 м; высота = 3.5 м; окраска стен – белая; окраска потолка – белая. Для освещения используются светильники с люминесцентными лампами ОД 2-40, с длиной 1230 мм, шириной 266 мм, высотой 158 мм, КПД 75%.

Расчет общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отраженный от потолка и стен:

$$\Phi = \frac{E_H \cdot S \cdot K_a \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 35 \cdot 1.5 \cdot 1.1}{7 \cdot 0.49} = 5051 \text{ (лм)} \quad (5.6)$$

Нормируемая освещенность, согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 $E_H=300$ лм. В соответствии со значением рассчитанного светового потока $\varphi=5051$ Лм, ближайшей световой люминесцентной лампой является лампа типа ЛХБ с электрической мощностью осветительной системы 80 Вт, световым потоком 5000 лм.

Допускается отклонение светового потока лампы не более чем на $-10\% - +20\%$. Для этого выполняется проверка по формуле

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100\% \leq +20\% = \frac{5000 - 5051}{5000} \cdot 100\% = -1.02\%$$

Таким образом, отклонение составило -1.02% , что не превышает допустимые

нормы.

Расчет освещения производится методом коэффициента использования светового потока, который показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность и зависит от:

- индекса помещения:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{35}{3.5 \cdot 12} = 0.83 \quad (5.7)$$

- коэффициента отражения стен (свежепобеленные, с окнами без штор): $\rho_{cm}=50\%$;
- коэффициент отражения потолка (свежепобеленный): $\rho_n=70\%$.

Для общего освещения применяются газоразрядные лампы: дневной (ЛД), холодно-белой (ЛХБ), тепло-белой (ЛТБ) и белой цветности (ЛБ).

Помещение лаборатории имеет следующие параметры:

- высота помещения: $H = 350$ см;
- расстояние светильников от перекрытия: $h_c = 35$ см;

Рассчитаем высоту светильника над полом, высоту подвеса:

$$h_n = H - h_c = 350 - 35 = 315 \text{ см} \quad (5.1)$$

- высота рабочей поверхности над полом: $h_{pp} = 75$ см;
- рассчитаем высоту светильника над рабочей поверхностью:

$$h = h_n - h_{pp} = 315 - 75 = 260 \text{ см} \quad (5.2)$$

При освещении рабочего помещения двухламповыми светильниками ОД при одиночной установке или при непрерывных рядах из одиночных светильников в соответствии с требованиями наименьшая допустимая высота подвеса над полом составляет 3.5 м. Рассчитанная величина $h=2.6$ м не соответствует требованиям.

- расстояние между соседними светильниками: $L = 3.75$ м;
- расстояние от крайних светильников до стены: $l = 0.9$ м.

Данное расстояние от крайних светильников до стены является подходящим, так как необходимая величина равна:

$$\frac{L}{3} = \frac{3.75}{3} = 1.25 \text{ (м)} \quad (5.3)$$

Отношение расстояния между светильниками L к высоте их подвеса h_n определяет величина, равная:

$$\lambda = L/h \quad (5.4)$$

Оптимальное значение для расположения люминесцентных светильников без защитной решетки типов ОД и ОДО составляет 1.4. Рассчитаем оптимальное расстояние между светильниками:

$$L = \lambda \cdot h = 1.4 \cdot 2.6 = 3.64 \text{ (м)} \quad (5.5)$$

Расположение светильников в лаборатории соответствует установленным требованиям. Количество рядов светильников с люминесцентными лампами определяется по формуле:

$$n_{\text{ряд}} = \frac{\left(B - \frac{2}{3}L\right)}{L} + 1 = \frac{\left(5 - \frac{2}{3} \cdot 3.75\right)}{3.75} + 1 = 1.66$$

Исходя из полученных результатов, оптимальным будет расположение светильников в два ряда. Количество светильников с люминесцентными лампами в ряду определяется по формуле:

$$n_{\text{св}} = \frac{\left(A - \frac{2}{3}L\right)}{l_{\text{св}} + 0.5} = \frac{\left(7 - \frac{2}{3} \cdot 3.75\right)}{1.23 + 0.5} = 2.59$$

Оптимальное количество светильников в ряду 3. Таким образом, для соблюдения требований освещения лаборатории необходимо 6 светильников с люминесцентными лампами ОД 2-40.

Превышение уровня шума возникает при работе механических и электромеханических изделий. В соответствии с ГОСТ 12.1.003-83. «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности» допустимый уровень шума при работе, требующей сосредоточенности, работе с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами на рабочих местах в помещениях с шумным оборудованием, составляет 75 дБ.

В научной лаборатории высокоинтенсивной имплантации ионов основными источниками шума являются: принтер Vizon2, компьютеры (охлаждение внутри системного блока, оптические приводы DVD-ROM). В соответствии со спецификацией принтер Vizon2 имеет уровень шума 25 дБ. Уровень шума блока питания компьютера составляет 25-30 дБ, уровень шума охлаждающего устройства процессора 15-20 дБ, остальные элементы охлаждения являются пассивными и их

уровень шума не учитывается. Шум, вызываемый работой оптических приводов, также не учитывается, так как они используются в работе незначительно малое время. Звукоизоляция в лаборатории не требуется, так как предельное значение уровня шума не достигается.

В зависимости от характеристик веществ и материалов, находящихся в помещении, по взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г и Д в соответствии с СП 12.13130.2009. Рассматриваемое помещение лаборатории относится к категории В, так как в нем содержатся твердые горючие вещества в холодном состоянии. Возможные причины возгорания:

- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоках питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности.

Согласно ГОСТ12.1.004-91 профилактические мероприятия, подразделяются на организационно-технические, эксплуатационные и режимные. Организационно-технические мероприятия заключаются в проведении регулярных инструктажей сотрудников ответственным за пожарную безопасность, обучении сотрудников надлежащей эксплуатации оборудования и необходимым действиям в случае возникновения пожара, паспортизацию веществ, материалов и изделий в части обеспечения пожарной безопасности, изготовление и применение средств наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности. К эксплуатационным мероприятиям относят профилактические осмотры оборудования. Мероприятия режимного характера включают установление правил организации работ и соблюдение противопожарных мер.

Соблюдение правил пожарной безопасности, предотвращает возникновение возгораний и пожаров:

- содержание помещений в соответствии с требованиями пожарной безопасности;
- надлежащая эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электропитания, контроль нагрева оборудования);
- обучение производственного персонала правилам пожарной безопасности;
- наличие, правильное размещение и использование средств

пожаротушения.

В помещении с электрооборудованием, во избежание поражения электрическим током, целесообразно использовать углекислотные или порошковые огнетушители. Огнетушители следует располагать на защищаемом объекте в соответствии с требованиями таким образом, чтобы они были защищены от воздействия прямых солнечных лучей, тепловых потоков, механических воздействий и других неблагоприятных факторов (вибрация, агрессивная среда, повышенная влажность и т. д.). Они должны быть хорошо видны и легкодоступны в случае пожара. Предпочтительно размещать огнетушители вблизи мест наиболее вероятного возникновения пожара, вдоль путей прохода, а также около выхода из помещения. В лаборатории, на этаже находится 2 огнетушителя ОП-3, переносные порошковые. Лестничные пролеты оборудованы гидрантами, имеется кнопка пожарной сигнализации.

5.3. Экологическая безопасность при эксплуатации

Исследование влияния шероховатости на аэродинамику криволинейной поверхности требует также учета экологической безопасности при его эксплуатации. Хотя данная тема не является прямым исследованием экологических аспектов, некоторые меры могут быть предприняты для минимизации негативного влияния на окружающую среду. Некоторые из этих мер могут включать:

Минимизация выбросов: При проведении экспериментов или исследования важно принимать меры для минимизации выбросов и загрязнений воздуха. Это может включать правильную установку и настройку оборудования, применение фильтров или аспирации для сбора и очистки выбросов, а также контроль за правильным утилизацией отходов.

Энергоэффективность: Оптимизация работы оборудования и процессов исследования с учетом энергоэффективности помогает снизить потребление энергии и, следовательно, уменьшить негативное влияние на окружающую среду. Это может включать использование энергоэффективных систем охлаждения, регулировку потока

воздуха или оптимизацию расхода ресурсов.

Управление химическими веществами: При работе с химическими веществами, которые могут использоваться в исследовании, необходимо строго соблюдать правила и регулирования по их хранению, использованию и утилизации. Правильная маркировка, хранение и обращение с опасными химическими веществами помогут предотвратить загрязнение окружающей среды.

Мониторинг и контроль: Организуйте систему мониторинга и контроля параметров, которые могут влиять на экологическую безопасность при проведении исследования. Это может включать мониторинг выбросов, качества воздуха, уровня шума и других факторов, связанных с исследовательской деятельностью.

Соблюдение нормативов и стандартов: Убедитесь, что ваше исследование соответствует применимым нормативам и стандартам, связанным с экологической безопасностью. Используйте экологические стандарты и рекомендации при выборе материалов, оборудования и методов исследования. Соблюдение этих нормативов поможет гарантировать безопасность окружающей среды и предотвратить негативное воздействие исследования на экологию.

Обучение и информирование: Проведите обучение и информирование сотрудников, работающих в рабочей зоне исследования, о мерах по обеспечению экологической безопасности. Это поможет им осознавать важность соблюдения правил и регуляций, связанных с экологической безопасностью, и применять соответствующие меры предосторожности.

Ответственность за утилизацию: Убедитесь, что отходы, полученные в результате исследования, правильно утилизируются. Следуйте руководствам и законодательству по обращению с опасными отходами, и своевременно утилизируйте их через соответствующие службы и организации.

Сотрудничество с экологическими организациями: Возможно, полезно установить партнерство или сотрудничество с экологическими организациями или учреждениями, чтобы получить экспертные советы и рекомендации по экологической безопасности во время исследования.

Внедрение этих мер по экологической безопасности в исследование влияния шероховатости на аэродинамику криволинейной поверхности поможет минимизировать отрицательное воздействие на окружающую среду и создать устойчивые и экологически ответственные практики.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации

Безопасность в чрезвычайных ситуациях является важным аспектом при проведении исследования влияния шероховатости на аэродинамику криволинейной поверхности. В случае возникновения чрезвычайных ситуаций, таких как пожар, авария или другие неожиданные события, необходимо предусмотреть соответствующие меры безопасности. Вот некоторые рекомендации:

План чрезвычайных ситуаций: Разработайте план действий на случай возникновения чрезвычайных ситуаций. В плане должны быть описаны процедуры эвакуации, использования средств пожаротушения, связи с экстренными службами и другие необходимые меры.

Обучение и тренировки: Проводите обучение и тренировки сотрудников, чтобы они знали, как реагировать на чрезвычайные ситуации. Это включает знание процедур эвакуации, умение пользоваться средствами пожаротушения и первой помощи, а также обучение коммуникации в экстренных ситуациях.

Оборудование безопасности: Обеспечьте наличие необходимого оборудования безопасности, такого как огнетушители, датчики дыма, системы пожарной сигнализации и аварийное освещение. Регулярно проверяйте работоспособность и

готовность этого оборудования к эксплуатации.

Эвакуационные маршруты и планы: Обозначьте эвакуационные маршруты и места сбора, чтобы в случае необходимости люди могли быстро и безопасно покинуть рабочую зону и собраться в безопасном месте. Проводите проверки и испытания эвакуационных маршрутов и планов.

Связь с экстренными службами: Установите надлежащую связь с экстренными службами, такими как пожарная служба и скорая помощь, чтобы в случае чрезвычайной ситуации можно было вызвать помощь немедленно.

Изоляция опасных зон: В рабочей зоне, где проводится исследование влияния шероховатости на аэродинамику криволинейной поверхности, необходимо принять меры для изоляции опасных зон. Это может включать использование физических барьеров, знаков безопасности и ограничение доступа только авторизованным лицам.

Регулярное обслуживание и проверки: Проводите регулярное обслуживание и проверки оборудования, систем безопасности и других средств защиты, чтобы гарантировать их исправность и надежность в чрезвычайных ситуациях.

Обратная связь и улучшение: Систематически собирайте обратную связь от сотрудников и участников исследования относительно безопасности и предлагайте улучшения в системах и процессах, чтобы постоянно совершенствовать безопасность в рабочей зоне.

Соблюдение законодательства: Соблюдайте требования законодательства, норм и стандартов, связанных с безопасностью, включая меры по предотвращению пожаров, обеспечению электробезопасности и управлению рисками.

Важно помнить, что безопасность в чрезвычайных ситуациях должна быть приоритетом при проведении исследования. Регулярное обучение, обновление

планов и проверки оборудования помогут минимизировать риски и обеспечить безопасность всех участников и окружающей среды.

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Под источником ЧС понимают опасное природное явление, аварию или опасное техногенное происшествие, широко распространенную инфекционную болезнь людей, сельскохозяйственных животных и растений, а также применение современных средств поражения

Рассмотрим возможные аварийные ситуации:

- Пожар в здании в результате неисправности в электрических сетях, нарушения технологического режима, нарушения техники пожарной безопасности сотрудников.

Нормы пожарной безопасности при работе на ПЭВМ и сопутствующей оргтехнике утверждены в ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования».

- Работать только за исправным оборудованием.
- Не подключать одновременно к сети количество потребителей, превышающих допустимую нагрузку.
- Иметь первичные средства пожаротушения (огнетушители, пожарные гидранты).
- Свободные эвакуационные выходы.
- Расположение схемы эвакуационных путей в месте наибольшего сосредоточения сотрудников.

В случае возникновения пожара в здании автоматически срабатывают датчики пожаротушения, и звуковая система оповещает всех сотрудников о немедленной эвакуации из здания. На этаже находится два огнетушителя и пожарных крана, а также три эвакуационных выхода.

Мероприятия по защите населения при возникновении ЧС проводятся согласно

ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения:

Эвакуация сотрудников из зоны ЧС.

- Использование средств индивидуальной защиты органов дыхания и кожных покровов.
- Проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ в зонах ЧС.
- Проведение мероприятий медицинской защиты (первая медицинская помощь).

5.5. Выводы по главе

В главе рассмотрены вредные и опасные факторы:

- электробезопасность (поражение электрическим током)
- производственный травматизм
- отклонение показателей микроклимата в лаборатории
- недостаточная освещенность рабочей зоны
- повышенный уровень шума
- пожарная опасность
- перенапряжение зрительного анализатора

Проведен расчет системы общего равномерного искусственного освещения для лаборатории. Рассмотрены чрезвычайные ситуации, и меры ликвидации их последствий. Мероприятия по предупреждению негативного воздействия вредных и опасных факторов на сотрудников, их соответствии нормативным требованиям описаны в соответствующих разделах главы.

Научная лаборатория перспективных материалов отнесена к классу В по пожароопасности и к 1 категории по электробезопасности.

Заключение:

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

(1) Установлено, что нанесение полосы шероховатости значительно изменяет подъемную силу и лобовое сопротивление, действующие на круглый цилиндр. Установлено, что коэффициент подъемной силы увеличивается примерно в 2,7 раза, а коэффициент лобового сопротивления - примерно в 1,5 раза по сравнению с гладким цилиндром. Однако установлено, что расположение полосы по окружности оказывает

лишь пренебрежимо малое влияние на эти параметры.

(2) При использовании разделительной пластины коэффициенты подъемной силы и лобового сопротивления снижаются до более низких значений, особенно при более близком расположении разделительной пластины (меньшие соотношения G/D). При $G/D=1,0$ коэффициенты подъемной силы и лобового сопротивления становятся самыми низкими.

(3) Настоящее исследование показывает, что шероховатость поверхности и разделительная пластина могут быть подходящим образом использованы для контроля характеристик следа круглого цилиндра.

В ходе данного исследования мы рассмотрели влияние шероховатости на аэродинамику криволинейной поверхности. Было выяснено, что шероховатость играет существенную роль в формировании аэродинамических характеристик объектов. Влияние шероховатости может проявляться в изменении сил сопротивления, подъемной силы, обтекаемости и других параметров. Одной из основных особенностей исследования было выявление зависимости между уровнем шероховатости и аэродинамическими характеристиками. Было показано, что увеличение шероховатости поверхности приводит к увеличению сил сопротивления и снижению подъемной силы. Это может оказывать негативное влияние на эффективность работы объектов, особенно в случае транспортных средств и аэродинамических конструкций. Также было обнаружено, что определенные типы шероховатости могут приводить к образованию вихрей и турбулентных потоков вокруг криволинейной поверхности. Это может вызывать дополнительные потери энергии и снижение общей аэродинамической эффективности.

Исследование подчеркнуло важность контроля и управления уровнем шероховатости поверхностей, особенно для объектов, где аэродинамические характеристики играют ключевую роль. Правильный выбор материалов, методов обработки поверхностей и покрытий может способствовать снижению шероховатости и улучшению аэродинамической производительности.

В целом, исследование показало, что шероховатость имеет значительное влияние на аэродинамику криволинейных поверхностей. Понимание этого влияния позволяет разработать более эффективные и оптимизированные аэродинамические решения. Дальнейшие исследования в этой области могут расширить наши знания и привести к разработке новых методов контроля и снижения шероховатости, что приведет к улучшению аэродинамических характеристик и повышению эффективности различных объектов. Кроме того, исследование также может способствовать развитию новых подходов к моделированию и анализу влияния шероховатости, что позволит предсказывать и оптимизировать ее воздействие на аэродинамические процессы.

В заключение, изучение воздействия шероховатости на аэродинамику криволинейных поверхностей представляет существенный этап в понимании и оптимизации аэродинамических характеристик разнообразных объектов. Полученные результаты имеют широкие применения в различных областях, включая авиацию, автомобильную промышленность, аэрокосмическую отрасль и другие. Дальнейшие исследования и разработки в данной области содействуют улучшению

производительности и эффективности различных технических систем, а также способствуют развитию инновационных решений в области аэродинамики.