

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки: 15.04.05 - Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств
 Отделение школы (НОЦ): Машиностроения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Влияние геометрических параметров лопасти летательного аппарата на подъемную силу

УДК 629.73.035.2 .843.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ01	Петренко Юрий Игоревич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дерюшева Валентина Николаевна	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к. э. н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н.		

По разделу «Иностранный язык»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Зяблова Наталия Николаевна	к.ф.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель	Мартюшев Никита Владимирович	к.т.н.		

Томск – 2022 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП
по основной образовательной программе подготовки магистров по направлению
15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных
производств», профиль подготовки «Конструирование технологического
оборудования» ИШНПТ ТПУ, Отделение Машиностроения, руководитель ООП
Мартюшев Н. В.

Код результата	Наименование компетенции
Проектно-конструкторская деятельность	
ПК-1	Способен формулировать цели проекта (программы), задач при заданных критериях, целевых функциях, ограничениях, строить структуру их взаимосвязей, разрабатывать технические задания на создание новых эффективных технологий изготовления машиностроительных изделий, производств различного служебного назначения, средства и системы их инструментального, метрологического, диагностического и управленческого обеспечения, на модернизацию и автоматизацию действующих в машиностроении производственных и технологических процессов и производств, средства и системы, необходимые для реализации модернизации и автоматизации, определять приоритеты решений задач.
ПК-2	Способен участвовать в разработке проектов машиностроительных изделий и производств с учетом технологических, конструкторских, эксплуатационных, эстетических, экономических и управленческих параметров, разрабатывать обобщенные варианты решения проектных задач, анализировать и выбирать оптимальные решения, прогнозировать их последствия, планировать реализацию проектов, проводить патентные исследования, обеспечивающие чистоту и патентоспособность новых проектных решений и определять показатели технического уровня проектируемых процессов машиностроительных производств и изделий различного служебного назначения.
ПК-3	Способен составлять описания принципов действия проектируемых процессов, устройств, средств и систем конструкторско-технологического обеспечения машиностроительных производств, разрабатывать их эскизные, технические и рабочие проекты, проводить технические расчеты по выполняемым проектам, технико-экономическому и функционально-стоимостному анализу эффективности проектируемых машиностроительных производств, реализуемых ими технологий изготовления продукции, средствам и системам оснащения, проводить оценку инновационного потенциала выполняемых проектов и их риски.
ПК-4	Способен выполнять разработку функциональной, логической, технической и экономической организации машиностроительных производств, их элементов, технического, алгоритмического и

	программного обеспечения на основе современных методов, средств и технологий проектирования.
Научно-исследовательская деятельность	
ПК-15	Способен осознавать основные проблемы своей предметной области, при решении которых возникает необходимость в сложных задачах выбора, требующих использования современных научных методов исследования, ориентироваться в постановке задач и определять пути поиска и средства их решения, применять знания о современных методах исследования, ставить и решать прикладные исследовательские задачи.
ПК-16	Способен проводить научные эксперименты, оценивать результаты исследований, сравнивать новые экспериментальные данные с данными принятых моделей для проверки их адекватности и при необходимости предлагать изменения для улучшения моделей, выполнять математическое моделирование процессов, средств и систем машиностроительных производств с использованием современных технологий проведения научных исследований, разрабатывать теоретические модели, позволяющие исследовать качество выпускаемых изделий, технологических процессов, средств и систем машиностроительных производств.
ПК-17	Способен использовать научные результаты и известные научные методы и способы для решения новых научных и технических проблем, проблемно-ориентированные методы анализа, синтеза и оптимизации конструкторско-технологической подготовки машиностроительных производств, разрабатывать их алгоритмическое и программное обеспечение.
ПК-18	Способен разрабатывать методики, рабочие планы и программы проведения научных исследований и перспективных технических разработок, готовить отдельные задания для исполнителей, научно-технические отчеты, обзоры и публикации по результатам выполненных исследований, управлять результатами научно-исследовательской деятельности и коммерциализации прав на объекты интеллектуальной собственности, осуществлять ее фиксацию и защиту, оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной научно-исследовательской работы.
ПК-19	Способен к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов (в соответствии с основной образовательной программой магистратуры).
Научно-педагогическая деятельность	
ПК-20	Способен участвовать в разработке программ учебных дисциплин и курсов на основе изучения научной, технической и научно-методической отечественной и зарубежной литературы, а также собственных исследований, в постановке и модернизации отдельных лабораторных работ и практикумов по дисциплинам программ магистратуры.

ПК-21	Способен проводить отдельные виды аудиторных учебных занятий, включая лабораторные и практические, применять новые образовательные технологии, включая системы компьютерного и дистанционного обучения, обеспечивать научно-исследовательскую работу обучающихся.
--------------	---

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки: 15.04.05 - Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств
 Отделение школы (НОЦ): Машиностроения

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4НМ01	Петренко Юрий Игоревич

Тема работы:

Влияние геометрических параметров лопасти летательного аппарата на подъемную силу	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№38-25/с от 07.02.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2022
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Цель работы: Выявить влияние геометрических параметров лопасти летательного аппарата на подъемную силу.</p> <p>Методы исследования: численное моделирование с использованием программного пакета SOLIDWORKS Flow Simulation.</p>
---	---

	Предметом исследования: является пространственное распределение скорости, давление и направление набегающего потока.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1. Обзор литературы, патентов, коммерческих достижений; 2. Создание численной модели; 3. Проведение исследования; 4. Валидация численной модели; 5. Анализ результатов.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Трёхмерная модель исследуемой лопасти.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжакина Татьяна Гавриловна
Социальная ответственность	Антоневич Ольга Алексеевна
Иностранный язык	Зяблова Наталия Николаевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: «Обзор», «Исследование», «ГЛАВА - ЭКСПЕРИМЕНТ»	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.02.2022
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дерюшева Валентина Николаевна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ01	Петренко Юрий Игоревич		

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка к магистерской диссертации на тему «Влияние геометрических параметров лопасти летательного аппарата на подъемную силу» написана на 173 страницах текста, содержит 35 рисунков, 5 таблиц, список используемых источников включает 27 наименований, 2 приложения.

Ключевые слова: лопасть, подъемная сила, численное моделирование, Flow Simulation, Computational Fluid Dynamics (CFD).

Предмет исследования: является пространственное распределение скорости, давление и направление набегающего потока.

Цель работы: выявить влияние геометрических параметров лопасти летательного аппарата на подъемную силу. Провести численное моделирование различных условий (нагрузок, сил, действующих на лопасть летательного аппарата) в программном пакете SOLIDWORKS Flow Simulation.

Практическая значимость: в возможности использования полученных результатов для дальнейшего применения в малых летательных аппаратах. А также отработке навыков владения программными модулями численного моделирования.

В рамках работы изучена литература, статьи, проведён анализ патентов в русскоязычном и англоязычном сегменте. Проведены исследования влияния геометрии лопасти на подъемную силу. Проанализированы результаты.

ESSAY

The explanatory note to the master's thesis on the topic "Influence of the geometric parameters of the aircraft blade on the lifting force" is written on 173 pages of text, contains 35 figures, 5 tables, the list of sources used includes 27 names, 2 applications.

Keywords: blade, lifting force, numerical simulation, Flow Simulation, Computational Fluid Dynamics (CFD).

Subject of study: is the spatial distribution of velocity, pressure and direction of the oncoming flow.

The purpose of the work: to reveal the influence of the geometric parameters of the aircraft blade on the lifting force. Conduct numerical simulation of various conditions (loads, forces acting on an aircraft blade) in the SOLIDWORKS Flow Simulation software package.

Practical significance: in the possibility of using the obtained results for further application in small aircraft. As well as developing skills in numerical simulation software modules.

As part of the work, literature, articles were studied, an analysis of patents in the Russian-speaking and English-speaking segments was carried out. The influence of the blade geometry on the lifting force has been studied. The results are analyzed.

Определения, обозначения, сокращения

CFD	Computational Fluid Dynamics
DNS	Direct Numerical Simulation
TDNS	Temporal (Time-developing) DNS
МКЭ	Метод конечных элементов
МКО	Метод конечных объёмов
МКР	Метод конечных разностей
САПР	Системы автоматизированного проектирования
БПЛА	Беспилотные летательный аппараты

Оглавление

Введение.....	13
1 ОБЗОР.....	16
1.1 Существующие аналоги.....	16
1.2 Патенты.....	19
1.3 Реализуемость.....	21
1.4 Коммерческая применимость.....	24
1.5 Выводы раздела.....	26
Список источников раздела.....	28
2 ИССЛЕДОВАНИЕ.....	30
2.1 Описание.....	30
2.2 Аэродинамический профиль.....	32
2.3 Расчёт лопасти.....	33
2.4 Сетка и расчётная область.....	38
2.5 Цели и рассматриваемые критерии.....	39
2.6 Просмотр результатов.....	41
2.7 Иллюстрации расчёта.....	44
3 ВЫВОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	52
4 ГЛАВА – ЭКСПЕРЕМЕНТ.....	64
5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	74
5.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	75
5.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	77
5.3 SWOT-анализ исследования.....	81
5.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	85
5.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	87
5.6 Планирование научно-исследовательских работ.....	87
5.6.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	87
5.7 Бюджет научного исследования.....	90
5.8 План управления коммуникациями проекта.....	95

5.9	Определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности исследования	96
5.10	Оценка абсолютной эффективности исследования.....	99
	Заключение раздела	105
6	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	106
6.1	Правовые нормы трудового законодательства	107
6.2	Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны.....	108
6.3	Производственная безопасность	109
6.3.1	Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	110
6.3.2	Электромагнитные поля промышленных частот	115
6.3.3	Психофизические факторы: умственное напряжение и перенапряжение, эмоциональные перегрузки, утомление	116
6.3.4	Отклонение показателей микроклимата.....	117
6.3.5	Повышенный уровень шума	119
6.3.6	Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов	120
6.3.7	Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	121
6.3.8	Факторы, связанные с высокой температурой материальных объектов, могущих вызвать ожоги тканей организма человека	122
6.3.9	Факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания (включая пары).....	123
6.4	Экологическая безопасность.....	124
6.5	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	126
	Выводы по разделу	128
	Список использованных источников раздела	129
7	РАЗДЕЛ ИНОСТРАННОГО ЯЗЫКА	133
	Список публикаций.....	156
	Выводы	157
	Список использованных источников	159

Приложение А	162
Приложение В.....	166

Введение

Любому предприятию, конкурирующему в области высокотехнологичных изделий, чтобы стать лидером или оставаться лидером рынка. Необходимо выполнять большой объём научно исследовательских и опытно конструкторских работ ежегодно. Стараться при этом, чтобы себестоимость, время, затраченные ресурсы на изделие были минимальны. И точно спрогнозировано качество, определена оптимальная технология производства. Ведь перед тем как попасть к заказчику изделие проходит долгий путь. При проектировании задействованы инженеры разных специальностей, применяется междисциплинарный подход, используются системы автоматизированного проектирования (САПР), а также другое программное обеспечение и модули, методы, позволяющие проводить виртуальные испытания (численное моделирование) перед тем как приступить к натурным испытаниям производимого изделия.

Для всего этого необходимы фундаментальная теоретическая подготовка, разносторонние навыки и практический опыт. Одним из важнейших этапов после проектирования изделия является численное моделирование. В частности - движения потоков газа в непосредственной близости к изделию.

Цель работы: Выявить влияние геометрических параметров лопасти летательного аппарата на подъемную силу. Провести численное моделирование различных условий (нагрузок, сил, действующих на лопасть летательного аппарата) в программном пакете SOLIDWORKS Flow Simulation.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- Подобрать и изучить материалы, литературу по данной теме.
- Рассмотреть варианты исполнения, расчёты и патентные работы.
- Спроектировать 3D модель лопасти летательного аппарата.
- Провести CFD-моделирование (газодинамику или аэродинамику).

- Провести исследование различных вариантов исполнения лопасти.
- Подвести итоги.

Предметом исследования: является пространственное распределение скорости, давление и направление набегающего потока.

Методы исследования: при решении поставленных задач применялись методы численного моделирования с использованием программного пакета SOLIDWORKS Flow Simulation в расчётах газодинамики.

Практическая значимость: в возможности использования полученных результатов для дальнейшего применения в малых летательных аппаратах. А также отработке навыков владения программными модулями численного моделирования.

Актуальность работы.

На сегодняшний день увеличен интерес к малым летательным аппаратам (беспилотникам). С их помощью можно переносить грузы, выполнять обработку больших территорий, леса или хозяйственных угодий. Применять в кадастровой сфере, геодезии, землеустроительных и градостроительных работах. В нефтегазовой сфере (для инспекции труднодоступных мест, мониторинга). В сельском хозяйстве уже используют для орошения полей, выявления патологий растений, учёта и отслеживания роста культур (технология iFarm). Для мониторинга линий электропередач (получения данные о растительности, влияние которой создает предпосылки для нарушения нормальной эксплуатации ЛЭП). В коммерческой сфере использование в целях доставки грузов (примеры: Amazon, Alibaba, DHL, FedEx).

Использование инструментов виртуального моделирования, при разработке и исследовании элементов летательного аппарата, сокращает время на НИОКР (научно исследовательские и опытно конструкторские работы), на изготовление испытательных стендов и помогает достичь наибольшего

эффекта при меньших трудозатратах. При этом выпускнику высшего учебного заведения необходимо обладать навыками цифрового моделирования и уметь работать в таких инструментах, которые уже применяются в промышленности. Например, САПР от SolidWorks, Ansys, Siemens (Amesim, Nastran, Femap, SIMIT, STAR-CCM+, Tecnomatix и другие) и т. п.[1]

1 ОБЗОР

«Дрон» – в технологическом контексте это беспилотный летательный аппарат. Формально дроны известны как беспилотные летательные аппараты (БПЛА/БЛА) или беспилотные авиационные системы (UASes). По существу, беспилотный летающий робот.

В настоящее время беспилотные летательный аппараты (БПЛА) применяются в кадастровой сфере, геодезии, землеустроительных и градостроительных работах. В нефтегазовой сфере применяются для инспекции труднодоступных мест: от подготовительных геодезических работ до мониторинга буровых установок и магистральных трубопроводов, контроля за утечками, ремонтом оборудования. В сельском хозяйстве БПЛА используют для орошения полей, выявления патологий растений при помощи использование дистанционного метода обнаружения. Который исследует фотоизображения, полученные с помощью беспилотных летательных аппаратов. Так же используется для учёта и отслеживания роста культур (технология iFarm). Еще для мониторинга линий электропередач (для получения данные о растительности, влияние которой создает предпосылки для нарушения нормальной эксплуатации ЛЭП). В коммерческой сфере использование беспилотников в целях доставки грузов. Пример: Крупнейшие мировые фирмы и ритейлеры (такие как: Amazon, Alibaba, DHL, FedEx) уже совершили ряд попыток внедрить БПЛА в свои процессы доставки. А также применение в военной сфере.

1.1 Существующие аналоги

Были рассмотрены имеющиеся рабочие прототипы, которые летают, применяются согласно назначению. На рисунках представлены такие как:

Разработка VTOL (vertical take-off and landing), рисунок 1.1.1 [6]. Предназначен для транспортировки грузов, термальной фото- и видеосъемки,

лазерного сканирования, аэрофотосъемки больших площадей. Решение включает систему обхода препятствий с использованием лидаров и камер и систему автоматического выбора места посадки.



Рисунок 1.1.1 – Вид дрона VTOL и лопастей

DJI Matrice m210 V2, рисунок 1.1.2. [7]. Система обработки посевов от вредителей, а также мониторинга посевных площадей.



Рисунок 1.1.2 – Вид дрона DJI Matrice и лопастей

Bell V-22 Osprey, рисунок 1.1.3. [8].



Рисунок 1.1.3 – Вид самолёта Bell V-22 Osprey и винтов

Барражирующий боеприпас DefendTex D40, рисунок 1.1.4 и рисунок 1.1.5 [9]. Устройство калибром 40 мм и длиной около 170-180 мм с цилиндрическим корпусом.



Рисунок 1.1.4 – Вид дрона DefendTex D40 и лопастей



Рисунок 1.1.5 – Вид дрона DefendTex D40 и лопастей

Дрон, от «Hoversurf», рисунок 1.1.6 [10]. Компания активно проводит тестовые испытания своего летающего пилотно/беспилотного такси. До этого разработав хOVERбайк Scorpion 3.



Рисунок 1.1.6 – Вид дрона «Ховер»

1.2 Патенты

В процессе исследования были изучены описания патентов, таких как:

- Патент US20160083073A1, «VEHICLE NOISE CONTROL AND COMMUNICATION (КОНТРОЛЬ ШУМА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА И СВЯЗЬ)», иллюстрации к патенту рисунок 1.2.1.
- Патент US9260184, «Compact unmanned rotary aircraft (Компактный беспилотный роторный летательный аппарат)», иллюстрации к патенту рисунок 1.2.2.
- ПАТЕНТ 15708 «Двухлопастный воздушный винт с гибкими лопастями».
- Патент 2271309 «ВЕРТОЛЕТ», иллюстрации к патенту рисунок 1.2.3.
- Патент 2706765 «Модульный многовинтовой беспилотный летательный аппарат вертикального взлета и посадки и способ управления им».
- RU204990U1 «Дрон-трансформер».

- RU2710968C1 «Гибридная мультироторная летающая платформа».
- Патент РФ №2062246 «ВОЗДУШНЫЙ ВИНТ».
- Патент США N 4596512, «СТРУЙНО-ЩЕЛЕВАЯ ЛОПАСТЬ ВОЗДУШНОГО ВИНТА», иллюстрации к патенту рисунок 1.2.4
- Патент СССР, N 4869.
- RU2142895C1 «ЛОПАСТЬ ВИНТА И ЕЕ КОМЕЛЬ», иллюстрации к патенту рисунок 1.2.5

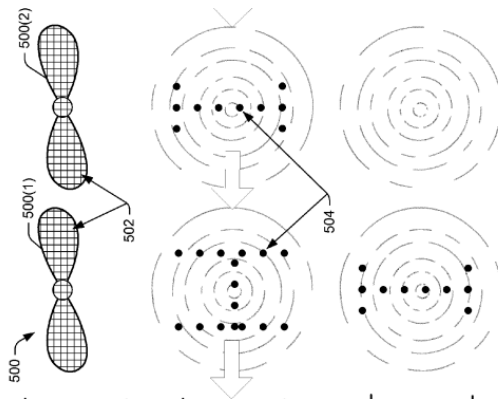


Рисунок 1.2.1 – Схема автоматизированного летательного аппарата

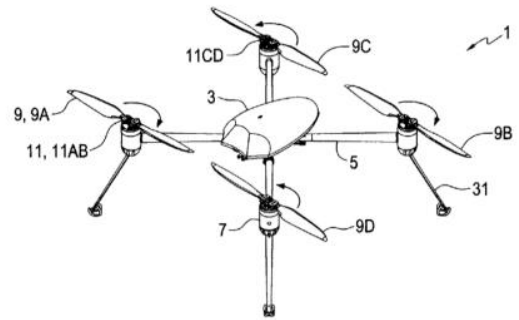
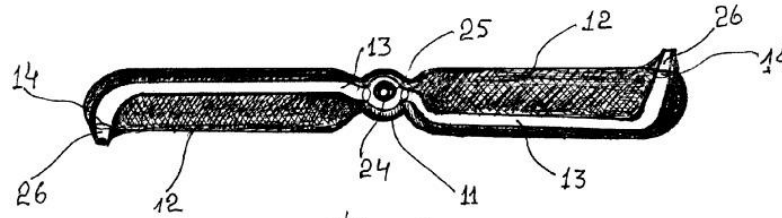


Рисунок 1.2.2 – Схематический вид аппарата



Фиг. 2
Рисунок 1.2.3 – Лопать

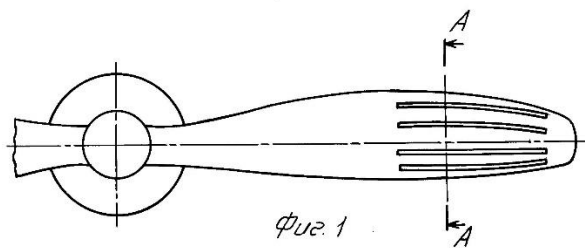
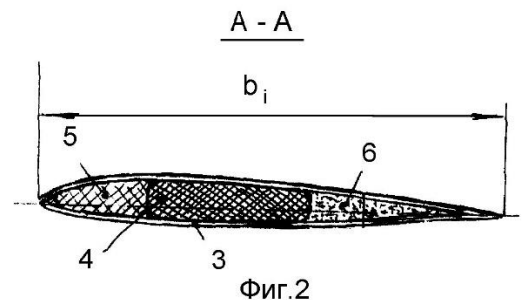


Рисунок 1.2.4 – Щелевая лопать



Фиг. 2
Рисунок 1.2.5 – Лопать винта, содержащая перо и комель.

- Патент RU 2 666 493 C1 «Беспилотный летательный аппарат», иллюстрации к патенту рисунок 1.2.6

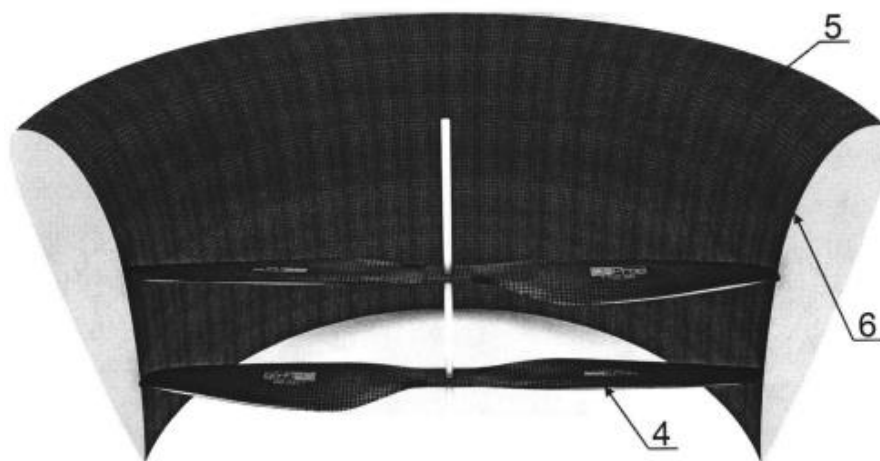


Рисунок 1.2.6 – Беспилотный летательный аппарат

А также были рассмотрены другие патентные решения. Патент 2706765, RU204990U1, RU2710968C1, патент РФ №2062246, патент США N 4596512, патент СССР, N 4869, RU2142895C1, патент 2593207C1, патент 2658684C1, патент 2399860C1, патент 2696632C1.

1.3 Реализуемость

Компания WhalePower разработала и продает дизайн аэродинамического профиля, с бугорками похожими на те что у плавника кита. По словам Стивена Дьюара, соучредителя WhalePower - их конструкция обеспечивает большую подъемную силу, создает меньшее сопротивление, сваливается под большим углом атаки и почти бесшумна [13].

Первым целевым рынком компании были лопасти для ветряных турбин. В течение шести месяцев уникальные лопасти работали на турбине Wenvor Technologies мощностью 25 киловатт с размахом 10 метров. Согласно WhalePower, результаты, опубликованные в январе 2009 года, показали 20-процентное увеличение годового производства энергии по сравнению с лопастями обычных турбин.

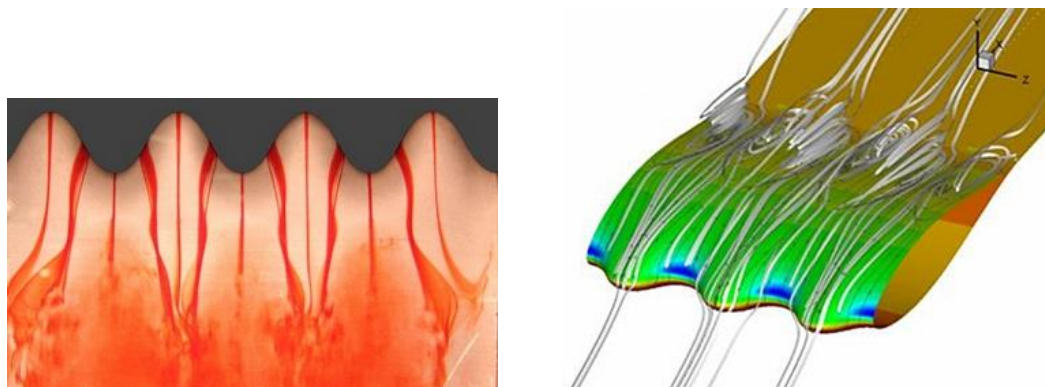


Рисунок 1.3.1 – Аэродинамика

Бугорки на переднем крае аэродинамической воронки WhalePower направляют воздушный поток между неровностями, который создает вихри, которые увеличивают подъемную силу, уменьшая сопротивление и срыв наконечника.

«Что интересно, так это то, что, если вы правильно сформируете бугорки, почти весь воздушный поток, поступающий к лопастям, пройдет через эти каналы», - говорит Дьюар. «Это создает вихри за каналом, которые прикрепляют пограничный слой воздуха к профилю и увеличивают подъемную силу».

Кроме того, Дьюар говорит, что увеличенное присоединение потока позволяет бугорчатому крылу или лопасти вентилятора достигать гораздо более крутого угла атаки - шага лопастей по отношению к набегающему воздуху - до того, как они столкнутся с срывом и сильным сопротивлением. Чтобы проиллюстрировать, если обычный аэродинамический профиль наклонен под углом более 15 градусов, верхняя часть крыла или лопасти начнет терять сцепление с воздушным потоком, и эффективность подъемной силы крыла резко упадет (то есть свалится).

По словам Дьюара, с бугорками критический угол атаки увеличивается до 31 градуса. Это означает, что бугорчатую лопасть турбины можно установить на больший угол, что, в свою очередь, обеспечивает более высокий коэффициент подъемной силы. В результате он может начать вырабатывать энергию при более низкой скорости ветра. Точно так же лопасть бугорчатого вентилятора перемещает больше воздуха за один оборот.

Наконец, он говорит, что неожиданным преимуществом лопастей бугорчатого вентилятора является то, что они менее шумны. «Когда вы

кладете лезвие на вращающуюся платформу, такую как турбина, скорость на вершине намного выше, чем у сердечника», - объясняет он. «В такой среде очень часто происходит, отрыв некоторого воздушного потока от поверхности лезвия; затем центробежная сила выталкивает его к наконечнику, где он дестабилизирует подъемную силу и вызывает срыв наконечника. Это не только снижает мощность, но и вызывает дополнительное сопротивление и вибрацию на конце, непропорциональную остальной части лезвия. Из-за этой вибрации ветряные турбины или любые вентиляторы шумят».

В отличие от этого, по словам Дьюара, бугорки «улавливают» воздушный поток по размаху и перенаправляют его по поверхности лопасти, тем самым уменьшая срыв наконечника и шум вибрации без увеличения сопротивления.

Первой компанией, адаптировавшей технологию WhalePower, была компания Seaforth, компания Envira-North на базе ON, крупнейший в Канаде производитель высокопроизводительных низкоскоростных промышленных потолочных вентиляторов, которая лицензировала технологию бугорков для своей линии Altra-Air HVLS. Вентиляторы компании имеют диаметр от 8 до 24 футов (2,4 м до 7,3 м) и обычно устанавливаются на больших открытых пространствах, таких как склады, распределительные центры и арены.

По словам Джоан Вуд, координатора продаж Envira-North, дизайн WhalePower привел к созданию потолочного вентилятора, который перемещает на 20 процентов больше воздуха, используя вдвое меньше лопастей, чем его предыдущие модели, при этом потребляя меньше энергии. «Благодаря эффективности лопастей наши вентиляторы могут работать с меньшей скоростью», - говорит Джоан Вуд. «Это означает, что для перемещения большего количества воздуха требуется примерно на 20 процентов меньше энергии, чем у обычного вентилятора».

По словам Дьюара, последствия дизайна в стиле Горбатого могут быть огромными, учитывая, что вентиляторы являются важным компонентом во

всем: от компьютеров и микроволновых печей до компрессоров, турбин и систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Хотя размер глобального рынка вентиляторов определить сложно, по словам Дьюара, экономия от 20 до 30 процентов потребляемой мощности, если бы конструкция лопастей вентилятора WhalePower стала стандартной, могла бы иметь огромное совокупное влияние на потребление энергии во всем мире.

1.4 Коммерческая применимость

Рассмотрены инновационные решения в сфере транспортной логистики. Дроны являются, вероятно, одной из самых перспективных веток развития транспортной логистики в мире, потому что они позволяют колоссально сократить транспортные расходы при перевозке на короткие дистанции, ведь себестоимость одной доставки (в пределах 24 километров) составляет всего 1\$. Стоит отметить, что масса груза не должна превышать 2,26 килограммов, однако из опыта американского интернет-магазина и крупного холдинга Amazon, следует, что 86% всех доставок не превышают максимальную грузоподъемность дрона [2].

Именно их опыт использования грузовых дронов заинтересовал многие компании в совершенно новом способе доставки. В декабре 2016 года компания Amazon осуществила первую доставку в городе Кембридж, Англия. Сервис получил название Amazon Prime Air и позволил производить доставку в течение 30 минут, если в пределах района расположен склад (см. рисунок). Идея произвела революцию и открыла дорогу другим компаниям, желающим обзавестись собственной беспилотной доставкой. EHang Falcon Amazon
Дрон Дрон Феникс



Рисунок 1.4.1 – Беспилотный грузовой дрон Amazon Prime Air [3]



Рисунок 1.4.2 – Drone testing on iFarm vertical farm [11]

Однако стоит понимать, что подобные концепции далеки от совершенства, ведь несмотря на все плюсы, минусы пока что нивелируют всю пользу от них (см. таблицу).

Таблица 1.4.1 – Преимущества и недостатки использования дронов в логистике

Преимущества	Недостатки
Низкие транспортные издержки	Конфиденциальность и безопасность (частной собственности и жизни)
Способность осуществлять доставку в труднодоступные регионы	Законодательные регулирование и ограничения
Быстрая доставка (относительно других способов транспортировки)	Проблемы в воздухе (линии электропередач, деревья, птицы)
Отсутствие человеческого фактора (аварии, задержки и так далее)	Проблемы на земле (вандализм, площадки для посадок)
Экологичность	Столкновение с природой (морозная, дождливая или ветряная погода)
Гибкость в цепи поставок	-

Исходя из данных таблицы видно, что существует круг нерешённых проблем, связанных с эксплуатацией дронов и организацией логистики с их

помощью. От того рассматривать преимущества в дальнейшем смысла нет. Дроны неидеальны во внешней среде. Географические, климатические и метеорологические особенности регионов вынуждают прорабатывать маршруты, исходя из большого объёма переменных.

Ветреная, морозная или дождливая погода становится препятствием для осуществления безопасной организованной доставки, так как навигационное и стабилизационное аппаратное обеспечение, а также различные датчики способны работать корректно лишь в наиболее подходящих условиях. Такой же нерешенной проблемой остаётся и вандализм. Из-за относительно небольшой высоты полёта, любая недоброжелательно настроенная личность в состоянии сбить или повредить дрон или груз.

Говоря о проблемах, основной и наиболее важной остаётся правовая. Во многих странах, в том числе и России, существуют 19 ограничения на использования воздушного пространства. На территории Российской Федерации, согласно Постановлению Правительства Российской Федерации от 03.02.2020 № 74 «О внесении изменений в Федеральные правила использования воздушного пространства Российской Федерации» [4].

1.5 Выводы раздела

В разделе рассмотрены существующие аналоги (не все были представлены в тексте) по которым видно, что беспилотные летательные аппараты всё больше применяются в различных сферах деятельности.

Проведён патентный обзор, который показал, что имеется большое количество наработок и смелых решений. Что отражает постоянное развитие в данном направлении. Развитие малых летательных аппаратов даст толчок в освоение не только площадей занимаемым городом, а объемов пространства. По принципу объема на порядок больше чем плоскости, и по этому объему можно будет перемещаться. Всё начинается с малого, простенького в исполнении. Потом вырастает в целую индустрию. Слоган: Дрону дом. –

потом в каждую семью реализовать, как это было с автомобилями, телефонами, принтерами.

Уже имеются определённые успехи от изучения формы лопасти и её связь с потоком воздуха, отсылка к WhalePower.

Рассмотрена коммерческая сторона вопроса и юридические риски.

Всё это даёт ориентир, помогает понять, что возможно достичь на сегодняшнее время и сколько это будет стоить. Узнав до того, как самостоятельно затратил – оно того стоило? А правильно ли делаешь, для чего делаешь? Где брать комплектующие, как проводилась разработка и моделирование, испытания. Промежуточные вещи узнаешь до того, как сам сломаешь кучу механизмов, электроники и двигателей. По первым прикидкам определяется окупаемость проекта, техническая реализуемость, сколько по времени будет делаться, чему нужно обучиться перед тем как начать – что бы смоделировать эффективно. Как реализовывались узлы конструкции? Какие материалы доступны и использовались? Многие вещи должны быть своевременны. Какие слабые места конструкции и на что нужно обратить внимание. А на что не стоит и нужно взять готовое. Тем самым сэкономив время.

Список источников раздела

1. Siemens. [Электронный ресурс] – <https://new.siemens.com/ru/ru.html>. (дата обращения: 30.05.2022).
2. Science Debate [Электронный ресурс]. – Беспилотный транспорт. Режим доступа: <https://www.sciencedebate2008.com/development-of-unmanned-aerialvehicles/> / (дата обращения: 31.05.2022).
3. Amazon Prime Air [Электронный ресурс]. – Изображение дрона Amazon. Режим доступа: <https://www.amazon.com/Amazon-PrimeAir/b?ie=UTF8&node=8037720011> / (дата обращения: 31.05.2022).
4. Постановление Правительства Российской Федерации от 03.02.2020 № 74 "О внесении изменений в Федеральные правила использования воздушного пространства Российской Федерации" [Электронный ресурс]. – Постановление правительства РФ. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202002040016?index=0&rangeSize=1/> (дата обращения: 31.05.2022).
5. Воздушный винт [Электронный ресурс]. <http://www.avmodels.ru/air/screw.html> (дата обращения: 31.05.2022).
6. Мультироторный беспилотник [Электронный ресурс]. <https://nauka.tass.ru/nauka/13260995> (дата обращения: 31.05.2022).
7. Отрасли применения [Электронный ресурс]. <https://enterprise.4vision.ru/otrasli/> (дата обращения: 31.05.2022).
8. BELL BOEING V-22 OSPREY [Электронный ресурс]. <https://www.bellflight.com/products/bell-boeing-v-22> (дата обращения: 31.05.2022).
9. DEFENCE TECHNOLOGY [Электронный ресурс]. <https://www.defendtex.com/> (дата обращения: 31.05.2022).
10. Hoversurf [Электронный ресурс]. <https://skolkovo-resident.ru/test-drona-taksi/> (дата обращения: 31.05.2022).

11. Городские теплицы [Электронный ресурс]. – Изображение дрона iFarm <https://ifarmproject.ru/> (дата обращения: 31.05.2022).

12. РОСТСЕЛЬМАШ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rostselmash.com> свободный. Дата обращения: 31.05.2022.

13. Ветроустановка WhalePower. [Электронный ресурс] – <http://nacp.ru/novosti-energetiki/alternativnaya-energetika/vetroustanovka-whalepower-kitovaya-sila.html>. (дата обращения: 31.05.2022).

2 ИССЛЕДОВАНИЕ

2.1 Описание

За последние десятилетия связи с ростом вычислительных возможностей компьютера бурно развивается вычислительная гидрогаза динамика (Computational Fluid Dynamics - CFD) [8]. Вычислительная гидрогазодинамика - подраздел механики сплошных сред, включающий совокупность физических, математических и численных методов, предназначенных для вычисления характеристик потоковых процессов. Попростому CFD анализ помогает создавать в программе течение газа или жидкости (на подобие эксперимента в аэродинамической трубе). Тем самым даёт информацию и представление об потоке в любой точке в любое время. Рассчитываются такие параметры: давление, скорость, направление течения/распространения, плотность, температура, частота и амплитуда колебаний (при расчёте волновых явлений, например: звук, электромагнитные волны) и другое.

Подходы к решению. В случае моделирования реального процесса производится так называемая дискретизация пространства и времени, таким образом, что геометрия процесса разбивается на расчётные ячейки, выбранные особым образом, а время процесса — на расчётные временные интервалы. Существуют различные методы решения системы уравнений, например:

- метод конечных объемов;
- метод конечных разностей;
- метод конечных элементов.

Метод конечных объёмов (МКО) — метод представления и оценки дифференциальных уравнений в частных производных в форме алгебраических уравнений. В МКО объёмные интегралы, которые содержат член дивергенции, преобразуются в поверхностные интегралы. Эти члены затем оцениваются как потоки на поверхностях каждого объёма. Поскольку

поток, входящий в объём, идентичен потоку, выходящему из смежного объёма, эти методы являются консервативными. Еще одним преимуществом МКО является в том, что он легко формулируется для учёта неструктурированных сеток. Именно этот метод используется во многих пакетах вычислительной гидрогазодинамики.

Для начала выбирается некоторая замкнутая область течения жидкости или газа, для которой производится поиск полей, описывающих состояние среды во времени и удовлетворяющих определенным законам, сформулированным математически. Наиболее используемыми являются законы сохранения в Эйлеровых переменных.

Другими словами, при формулировке МКО используется физическая интерпретация исследуемой величины. Например, при решении задач переноса тепла используется закон сохранения тепла в каждом контрольном объеме.

Метод конечных разностей (МКР) — численный метод решения дифференциальных уравнений путем аппроксимации их разностных уравнений, в которых конечные разности аппроксимируют производные. МКР преобразует линейные (или нелинейные) дифференциальные уравнения с частными производными в систему линейных (нелинейных) уравнений, которые потом решаются методами матричной алгебры. Сведение дифференциального уравнения к системе алгебраических уравнений делает задачу нахождения решения идеально подходящей для численного решения. Сегодня МКР является доминирующим подходом к численным решениям уравнений в частных производных.

Метод конечных элементов (МКЭ)—численный метод для решения задач инженерной и математической физики. Постановка задач методом конечных элементов приводит к системе алгебраических уравнений. МКЭ аппроксимирует неизвестную функцию по области. Область разделяется на множество конечных элементов. МКЭ использует вариационные методы

извариационного вычисления для аппроксимации решения путем минимизации связанной функции ошибок.

Метод конечных элементов сложнее метода конечных разностей в реализации. У МКЭ, однако, есть ряд преимуществ, проявляющихся на реальных задачах: произвольная форма обрабатываемой области; сетку можно сделать более редкой в тех местах, где особая точность не нужна.

Кроме того, анализ CFD позволяет получать данные, измерение которых экспериментальными методами может быть затруднено или вообще невозможно [9].

2.2 Аэродинамический профиль

Рассматриваемый элемент – лопасть летательного аппарата. За основу был взят один из номеров NASA (National Advisory Committee for Aeronautics, Национальный консультативный комитет по авиации), с последующим изменением. Аэродинамические профили NASA – это формы аэродинамических профилей для крыльев самолётов. На рисунках 2.2.1 показан видоизменённый профиль.

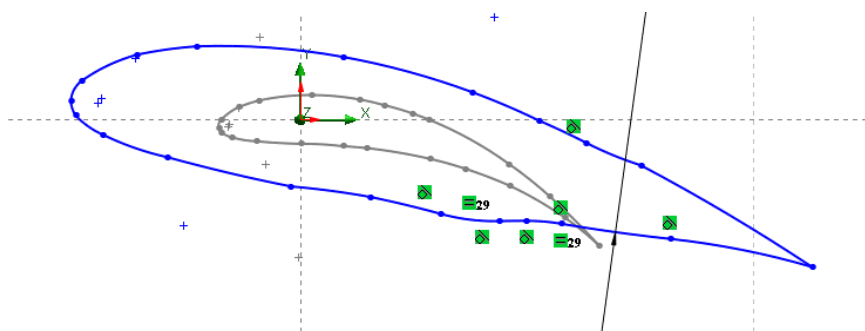


Рисунок 2.2.1 – Профиль лопасти



Рисунок 2.2.2 – Сочетание нескольких профилей лопасти

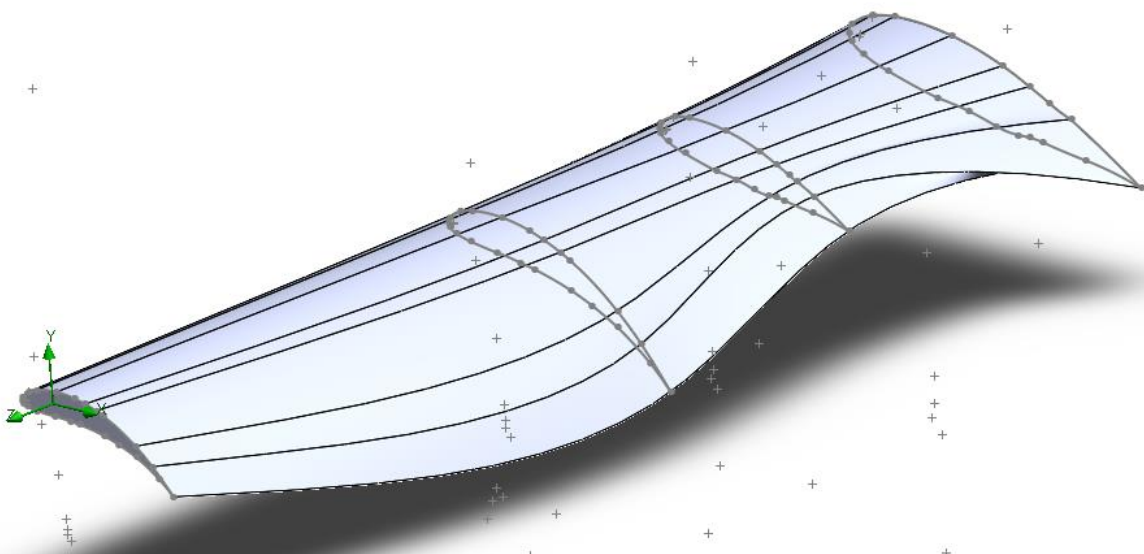


Рисунок 2.2.3 – Форма лопасти

2.3 Расчёт лопасти

Методика расчёта № 1.

В дронах используются винты с фиксированным углом атаки, что позволяет упростить расчет аэродинамических сил и моментов создаваемых винтами. Рассмотрим сечение лопасти. Основной интересующей характеристикой сечения являются аэродинамические коэффициенты $C_z^{\text{винта}}$ лопасти и $C_x^{\text{винта}}$ лопасти, которые отвечают за подъемную силу и реактивный момент лопасти, рисунок 2.3.1.

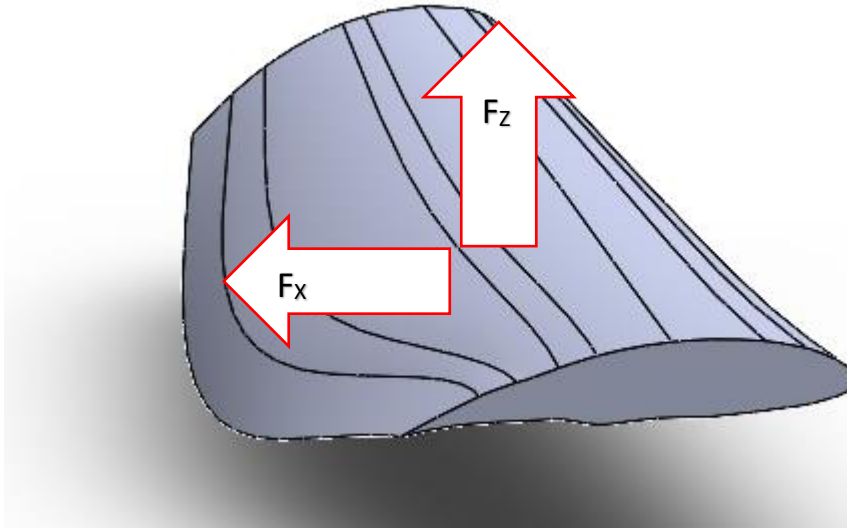


Рисунок 2.3.1 – лопасть и сечение лопасти

Причиной возникновения подъемной силы и реактивного момента является движение лопасти. Подъемная сила зависит от скорости вращения лопасти, скорости набегающего потока, аэродинамического коэффициента $C_z^{\text{лопасти}}$ лопасти и радиуса лопасти.

$$F_T = C_z^{\text{винта}} \rho \pi R^2 (\omega R - V)^2$$

где R - радиус лопасти, ω - скорость вращения лопасти, ρ - плотность среды, $C_z^{\text{лопасти}}$ - аэродинамический коэффициент, V - набегающего потока.

Учитывая две лопасти и их направление движения, в одном случае будет слагаемое с + и другое с -. Таким образом сумма от двух лопастей будет:

$$\begin{aligned} F_T &= C_z^{\text{лопасти}} \rho \pi R^2 (\omega R - V)^2 + C_z^{\text{лопасти}} \rho \pi R^2 (\omega R - V)^2 \\ &= 2C_z^{\text{лопасти}} \rho \pi R^2 (\omega R - V)^2 \end{aligned}$$

Скорость набегающего потока мала по сравнению с ωR , в связи с чем принимается приближение:

$$F_T = 2C_z^{\text{лопасти}} \rho \pi R^4 \omega^2$$

Считая, что плотность среды неизменна, можно принять $q = 2C_z^{\text{лопасти}} \rho \pi R^4 = \text{const}$. Тогда подъемная сила определяется формулой:

$$F_T = q \omega^2$$

Появление вращающего момента связано с тем, что кроме вертикальной составляющей аэродинамической силы, есть и горизонтальная. Интегрируя по длине лопасти, получаем выражение для реактивного момента:

$$M_p = C_x^{\text{лопасти}} \rho \pi R^3 (\omega R - V)^2$$

Учитывая приближения, принятые для подъемной силы, получаем формулу для реактивного момента:

$$M_p = 2C_x^{\text{винта}} \rho \pi R^5 \omega^2$$

Переобозначая $\mu = \frac{C_x^{\text{лопасти}}}{C_z^{\text{лопасти}}} R$, получаем формулу:

$$M_p = \mu F_T = \mu q \omega^2$$

где μ – коэффициент пропорциональности между подъемной силой и реактивным моментом.

Реактивный момент является управляющим моментом для угла рысканья.

Методика расчёта № 2.

Сила тяги, создаваемая лопастью (F), и мощность, необходимая для вращения (N), выражаются такими формулами [18]:

$$F = \alpha \cdot r_o \cdot n^2 \cdot D^4; \quad (1)$$

$$N = \beta \cdot r_o \cdot n^2 \cdot D^4; \quad (2)$$

Здесь: α и β - безразмерные коэффициенты тяги и мощности. Зависят от скорости набегающего потока и формы лопасти. При висении, когда скорость набегающего потока равна нулю, зависят только от формы лопасти;

r_o - плотность воздуха; n - частота вращения лопасти; D - диаметр лопасти.

Эффективность лопасти.

Рассматривается, каким образом эффективность лопасти зависит от полезной нагрузки (тяги). Для этого выражается из формулы (1) частота n :

$$n = \sqrt{\frac{F}{\alpha \cdot r_o \cdot D^4}} = \sqrt{\frac{F}{\alpha \cdot r_o}} \frac{1}{D^2} \quad (3)$$

Подставив n из (3) в формулу (2):

$$N = \beta \cdot r_o \left(\sqrt{\frac{F}{\alpha \cdot r_o}} \frac{1}{D^2} \right)^3 \cdot D^5 = \beta \cdot r_o \left(\sqrt{\frac{F}{\alpha \cdot r_o}} \right)^{3/2} \cdot \frac{1}{D} \quad (4)$$

Вычисляется эффективность пропеллера (E), разделив силу тяги F на мощность, выраженную формулой (4):

$$E = \frac{F}{N} = \frac{F}{\beta \cdot r_o \frac{F}{(\alpha \cdot r_o)^{3/2}} \frac{1}{D}} \quad (5)$$

Упрощая правую часть (5), получается:

$$E = \frac{D \cdot \alpha^{3/2}}{\beta \cdot \sqrt{\frac{r_o}{F}}} \quad (6)$$

Коэффициент $\frac{\alpha^{3/2}}{\beta}$ характеризует аэродинамическое качество лопасти и в режиме висения зависит только от формы. Обозначив этот коэффициент (7).

$$Q = \frac{\alpha^{3/2}}{\beta} \quad (7)$$

Тогда эффективность выражается так:

$$E = Q \cdot D \sqrt{\frac{r_o}{F}} \quad (8)$$

В режиме висения тяга, создаваемая несущей лопастью, равна весу летательного аппарата. Поэтому F можно понимать, как часть веса летательного аппарата, приходящуюся на один пропеллер. То есть F в формуле (8) - это тяга, которую должен развить пропеллер, чтобы удержать летательный аппарат.

Таким образом, из (8) следует, что эффективность лопасти прямо пропорциональна его диаметру и обратно пропорциональна квадратному корню из величины тяги, которую должна создать лопасть.

Учет температуры и атмосферного давления.

Чтобы выразить плотность воздуха через атмосферное давление и температуру, используем уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$p \cdot V = \frac{m}{m_{\mu} R \cdot T} \quad (9)$$

Здесь: p - давление; V - объем; m - масса; m_{μ} - молярная масса. Для воздуха $m_{\mu} = 29$ г/моль. R - универсальная газовая постоянная; T - температура (по Кельвину).

Плотность - отношение массы к объему:

$$r_o = \frac{m}{V} \quad (10)$$

Выражая m/V из (9), получим:

$$r_o = \frac{m_{\mu} \cdot p}{R \cdot T} \quad (11)$$

Подставляя выражение для плотности из (11) в (8), получаем:

$$E = Q \cdot D \sqrt{\frac{m_{\mu} \cdot p}{R \cdot T \cdot F}} \quad (12)$$

Обозначим $C = \sqrt{\frac{m_{\mu}}{R}}$ - для воздуха это константа. Тогда формула для эффективности окончательно будет выглядеть так:

$$E = C \cdot Q \cdot D \sqrt{\frac{p}{T \cdot F}} \quad (13)$$

То есть, эффективность лопасти в режиме висения прямо пропорциональна коэффициенту его аэродинамического качества (зависит от формы), диаметру и квадратному корню из атмосферного давления. Обратно пропорциональна квадратному корню из температуры воздуха (в Кельвинах) и квадратному корню из силы тяги, которую должна создать лопасть.

Другие методики расчёта:

В настоящее время известны разные подходы численного моделирования. Такие как вихреразрешающие (DNS, LES— Large Eddy Simulation), RANS (ReynoldsAveraged Navier Stokes) моделирование [26,27], методе Крейга-Бэмптона, уравнений Навье – Стокса и уравнение неразрывности, модели турбулентности «k-ε», «k-ω», SST (shear stress transport) [19,20] и другие.

2.4 Сетка и расчётная область

Для численного моделирования в газовой среде модели лопасти дрона {Дрон (англ. drone — «трутень») или беспилотник — телеуправляемый или автономный (но не пилотируемый!), способный свободно перемещаться в естественной среде робот} в отдельности и в сборе была построена декартова прямоугольная расчетная сетка с отсеченными гранями. В качестве примера приведены иллюстрации того как это выглядит в SOLIDWORKS Flow Simulation (рис. 2.4.1). В терминах Flow Simulation такой построитель сеток называется триммер. Данный метод позволяет построить сетку, обеспечивающую высокую точность расчетов и при этом экономную с точки зрения вычислительных ресурсов.

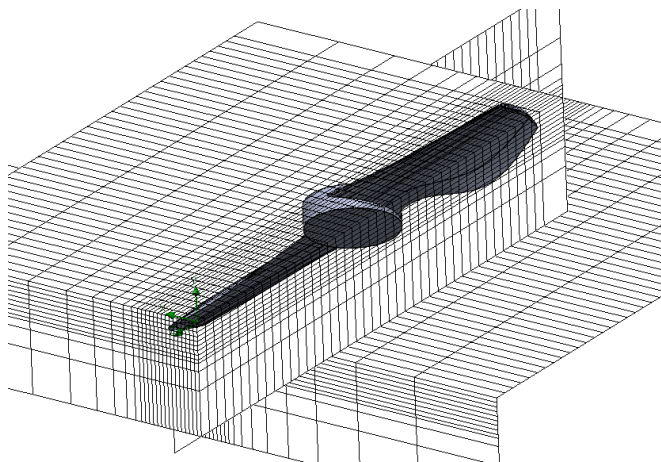


Рисунок 2.4.1 – Вид сетки, изометрия лопасти

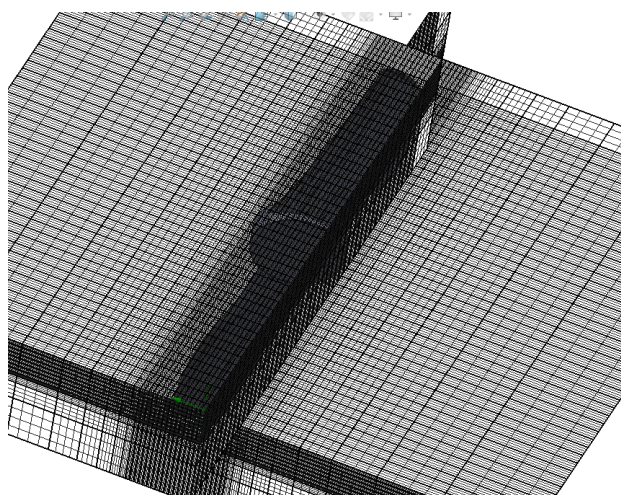


Рисунок 2.4.2 – Вид сетки в изометрии лопасти (при ручном корректировании сетки)

Для оценки изменения потока за профилем и для более точного численного моделирования, было задано сгущение сетки вокруг модели лопасти. Средний размер ячейки обычно задаётся как 25% от базового. Для сгущения сетки на поверхности модели с целью более точного описания элементов обычно применяется средний размер ячейки, равный 2% от базового. Итоговая расчетная сетка для лопасти представлена на рисунке 2.4.2. Общее число ячеек в среднем для всех расчетов лопасти составило примерно 1 360 341.

2.5 Цели и рассматриваемые критерии

Имеются четыре вида целей: глобальные (физический параметр, рассчитываемый для всей расчётной области), поверхностные (физический параметр, рассчитываемый на заданной пользователем поверхности), объемная цель (определяемый для сборок), функциональная цель (выражена функциями состоящая из простых математических операций) [15, 16, 17], рисунок 2.5.1.

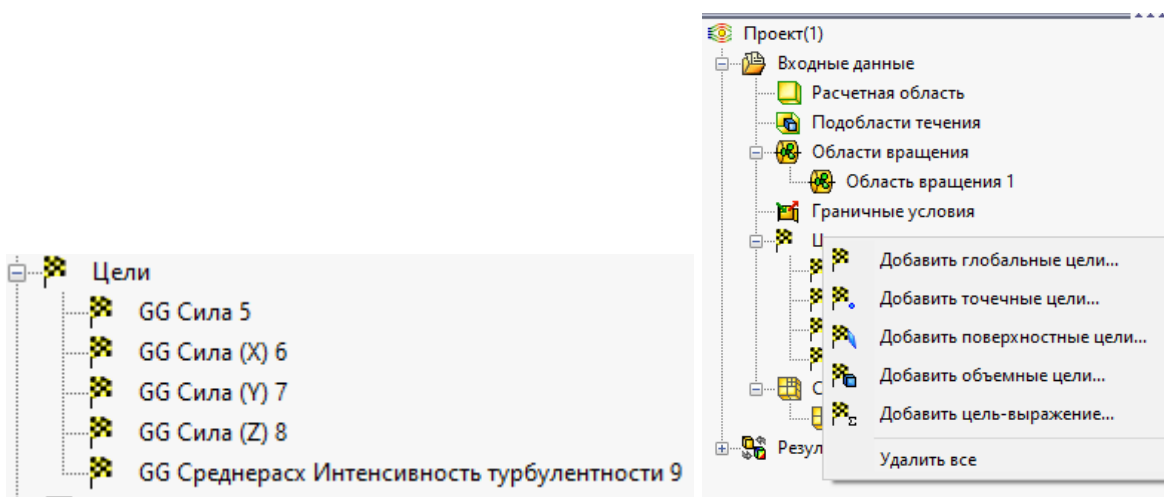


Рисунок 2.5.1 – Цели

Под точностью полученного решения понимается – это значения всех независимых переменных стационарной задачи, во всех ячейках сетки расчётной области. А также интерполяция этих значений (и экстраполяция, если необходимо в частности на поверхность твёрдых тел, поскольку

дискретные значения переменных определены в центрах расчётных ячеек) на всю расчётную область. Решение нестационарной задачи – это значения всех переменных во всех ячейках сетки расчётной области во все рассчитанные моменты времени.

В глобальной цели рассматривалось – сила тяги в ньютонах, интенсивность турбулентности в процентных соотношениях.

Результаты расчёта окончательного значения просматривались следующие: картины в сечении, картины на поверхности, траектории потока, поверхностные параметры, изоповерхности, линии тока.

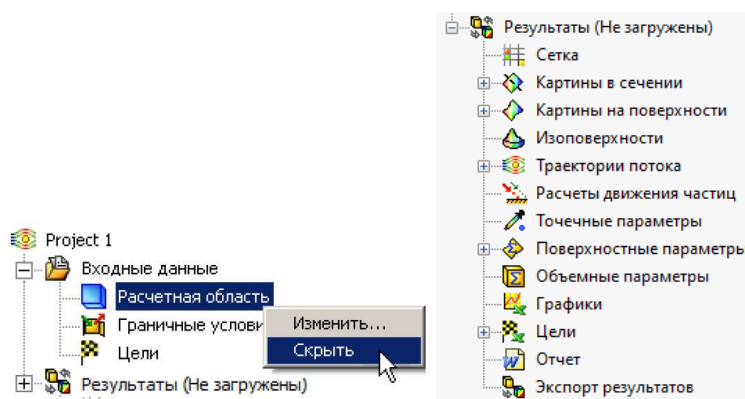


Рисунок 2.5.2 – Расчётная область и древо анализа

Расчётная область размеры 960x960x1200 мм и вторые размеры области расчёта 340x110x50 мм.

Лопасть, диаметр 265 мм, высота 18 мм, рисунок 2.5.3.

Диапазон вращения лопасти от 8 000 до 10 000 оборотов в минуту (838-1048 радиан/с). На реальных моторчиках 10 000 оборотов в минуту (1048 радиан/с).

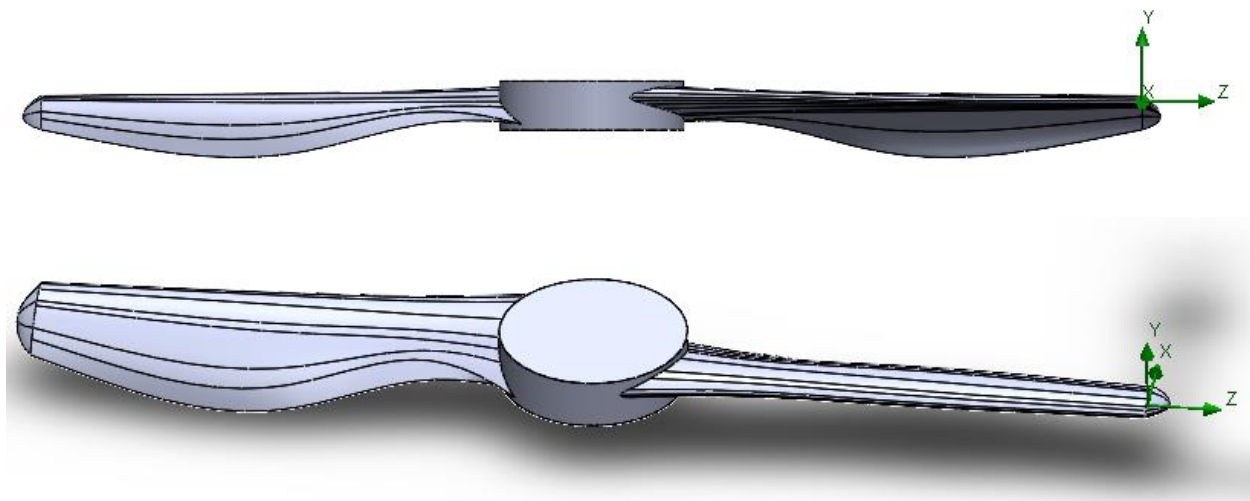


Рисунок 2.5.3 – Лопасть

2.6 Просмотр результатов

Flow Simulation включает следующие функции для просмотра результатов[10,11].

Эпюры	Анимации	Исследование частиц
Эпюры трехмерных профилей	Траектории потока	Отчеты
Эпюры вырезов	Цели	Параметры точки, поверхности и объема
Эпюры поверхностей	Изометрические поверхности	Эпюры XY

Рисунок 2.6.1 – Функции для просмотра

Кроме того, можно получить окончательное значение любого физического параметра включая величину потока, падение давления и т.д., на заданный момент или максимальное, минимальное, среднее или средневзвешенное значение для поверхности. В качестве примера на рисунке 2.6.1 изображены траектории движения потоков воздуха, в цвете отображено давление.

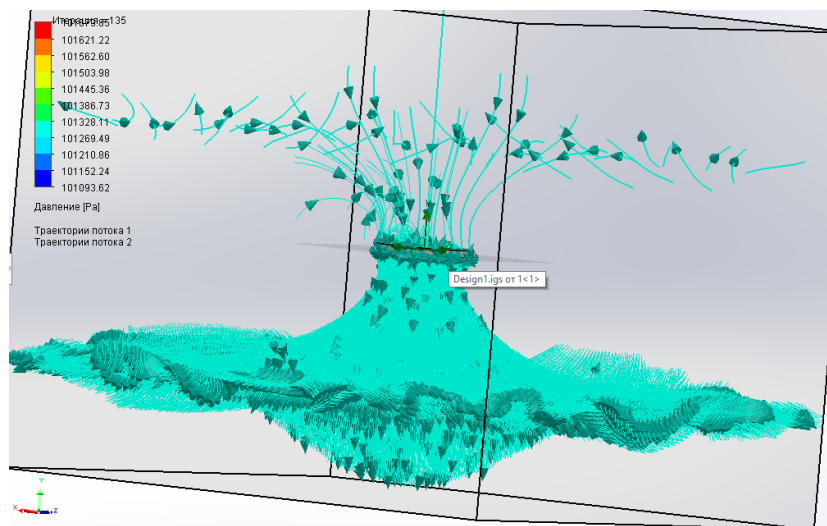


Рисунок 2.6.1 – Первые результаты

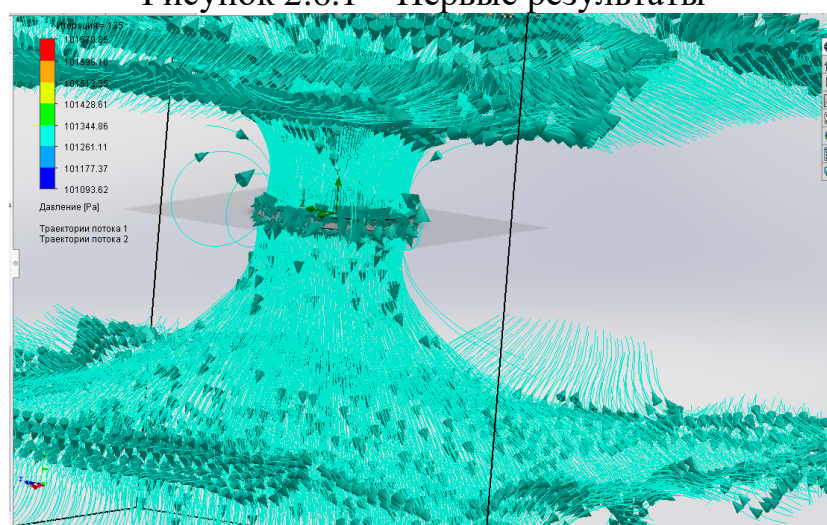


Рисунок 2.6.2 – Первые результаты

Глобальная сетка имеет семь уровней точности начиная от единицы, до семи. Использование третьего, четвёртого или пятого уровня помогает сократить время расчёта и позволяет понять улучшения (ухудшения) от изменений вносимые в форму лопасти. Но такой итоговый результат получается не точный, в разы отличается от расчётов седьмого уровня. Примеры приведены на рисунках 2.6.3, 2.6.4, 2.6.5.

Результаты расчёта для данных трех лопастей диаметром 265 мм (26,5 см), габарит по высоте 18 мм (1,8 см). Обороты 8500 об/мин (890 рад/с).

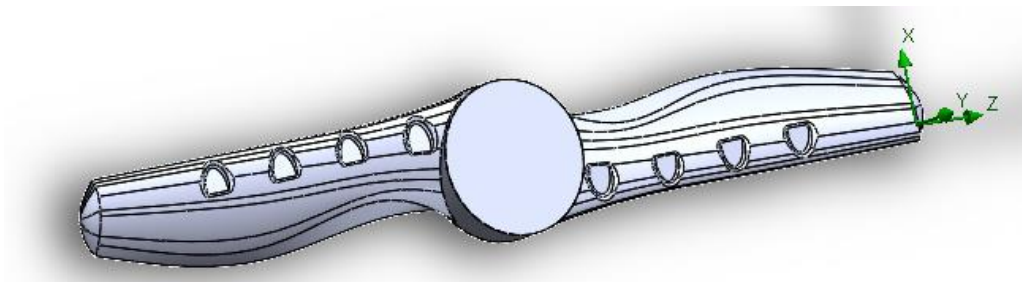


Рисунок 2.6.3 – Лопасть

Расчёты при сетке 3-го уровня показали, что тяга лопасти обычной формы (10,7 Н, 1 097 грамм).

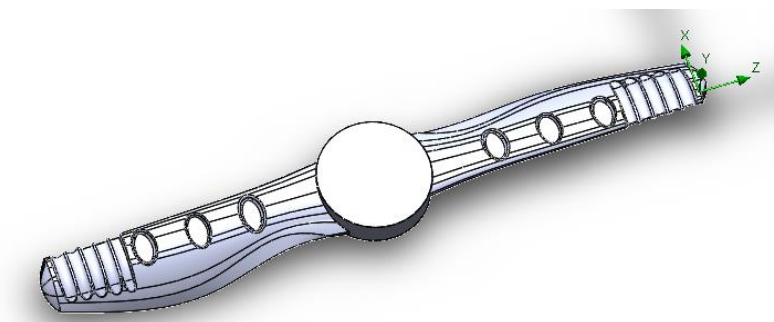


Рисунок 2.6.4 – Лопасть изменённая

Расчёты при сетке 3-го уровня показали, что тяга лопасти видоизменённой формы (18 Н, 1 835,5 грамм).

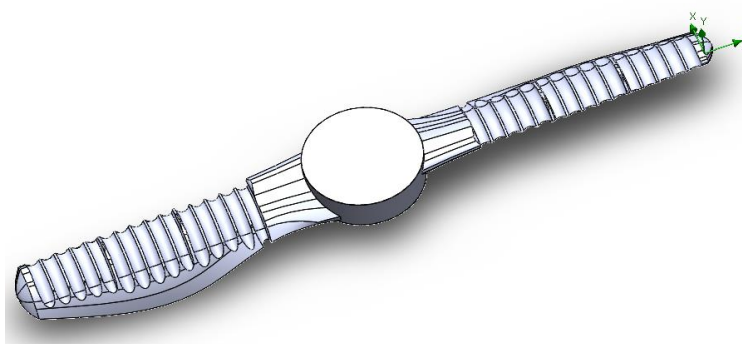


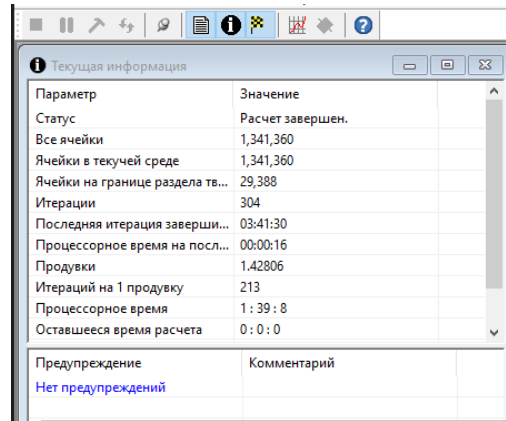
Рисунок 2.6.5 – Лопасть изменённая

Расчёты при сетке 3-го уровня показали, что тяга лопасти видоизменённой формы (28,5 Н, 2 906 грамм).

2.7 Иллюстрации расчёта

Проводится расчёт при сетке более детальной, седьмой максимальной уровень.

Расчёт – обычная лопасть

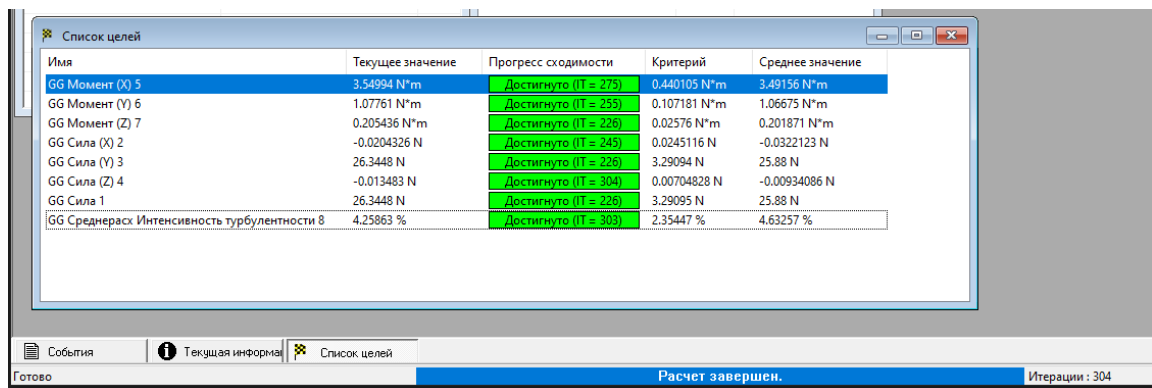


Параметр	Значение
Статус	Расчет завершен.
Все ячейки	1,341,360
Ячейки в текучей среде	1,341,360
Ячейки на границе раздела тв...	29,388
Итерации	304
Последняя итерация заверши...	03:41:30
Процессорное время на посл...	00:00:16
Продувки	1.42806
Итераций на 1 продувку	213
Процессорное время	1 : 39 : 8
Оставшееся время расчета	0 : 0 : 0

Предупреждение: Нет предупреждений

Комментарий:

Рисунок 2.7.1 – Детальность сетки



Имя	Текущее значение	Прогресс сходимости	Критерий	Среднее значение
GG Момент (X) 5	3.54994 N*m	Достигнуто (IT = 275)	0.440105 N*m	3.49156 N*m
GG Момент (Y) 6	1.07761 N*m	Достигнуто (IT = 255)	0.107181 N*m	1.06675 N*m
GG Момент (Z) 7	0.205436 N*m	Достигнуто (IT = 226)	0.02576 N*m	0.201871 N*m
GG Сила (X) 2	-0.0204326 N	Достигнуто (IT = 245)	0.0245116 N	-0.0322123 N
GG Сила (Y) 3	26.3448 N	Достигнуто (IT = 226)	3.29094 N	25.88 N
GG Сила (Z) 4	-0.013483 N	Достигнуто (IT = 304)	0.00704828 N	-0.00934086 N
GG Сила 1	26.3448 N	Достигнуто (IT = 226)	3.29095 N	25.88 N
GG Среднерасх Интенсивность турбулентности 8	4.25863 %	Достигнуто (IT = 303)	2.35447 %	4.63257 %

Готово

Расчет завершен.

Итерации : 304

Рисунок 2.7.1 – Результаты

По результатам расчёта видно, что тяга – среднее значение 25,88 Н (2639 грамм), турбулентность 4,6 %.

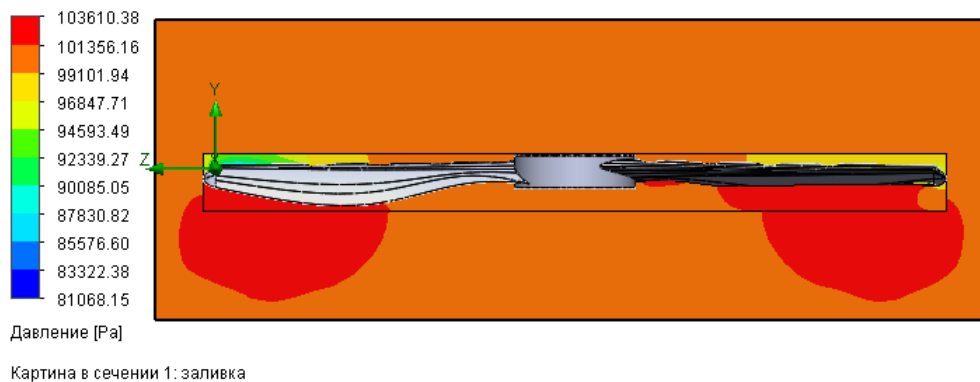


Рисунок 2.7.2 – Области давления

На рисунке 2.7.2 наблюдаем области давления (шкала по локальному максимуму). Нет эквидистантных линий (линии тока).

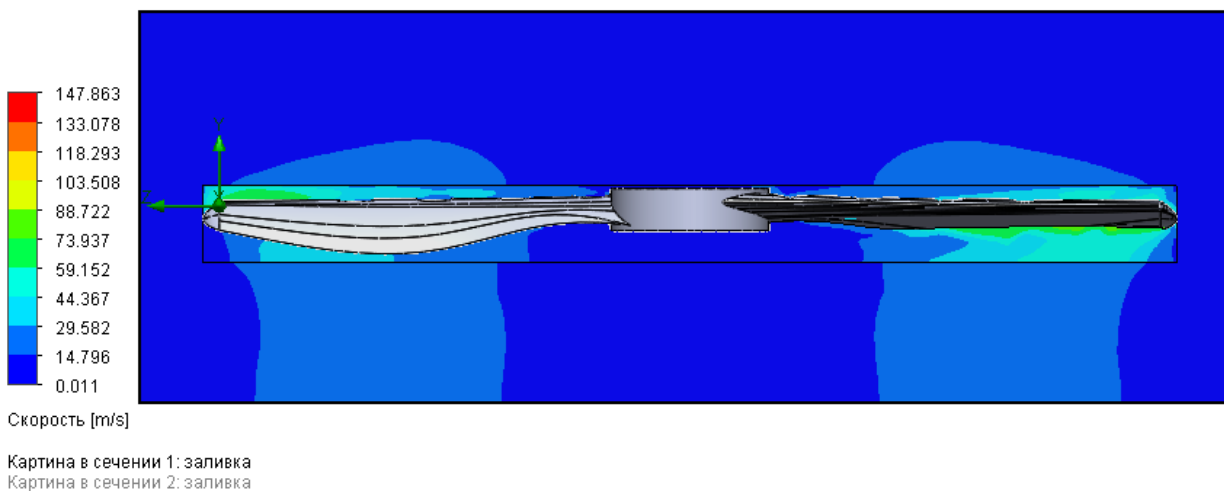


Рисунок 2.7.3 – Области показывающие границы скорости потоков воздуха

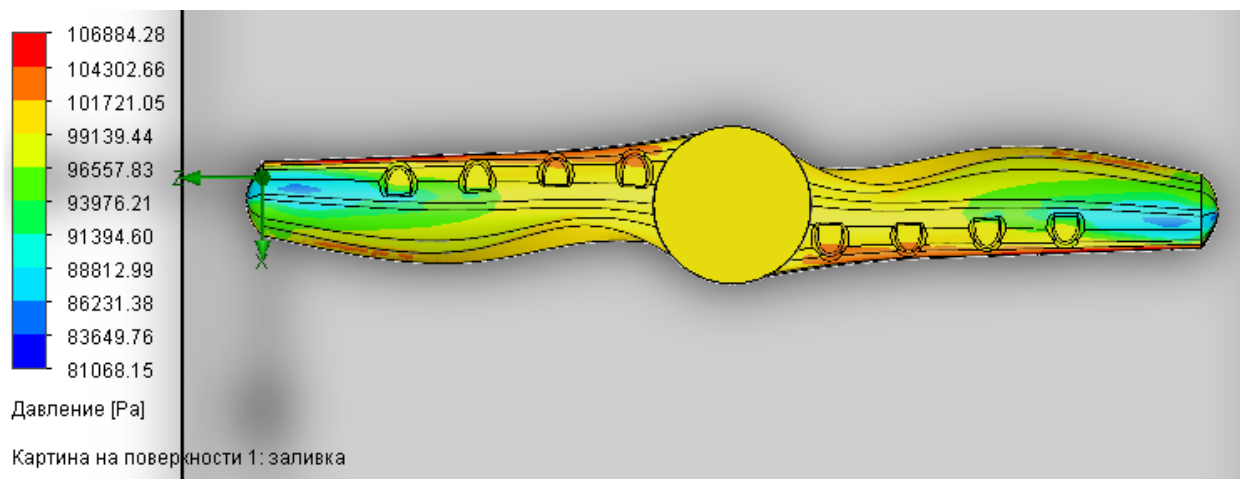


Рисунок 2.7.4 – Картина на поверхности лопасти, по параметру – давление

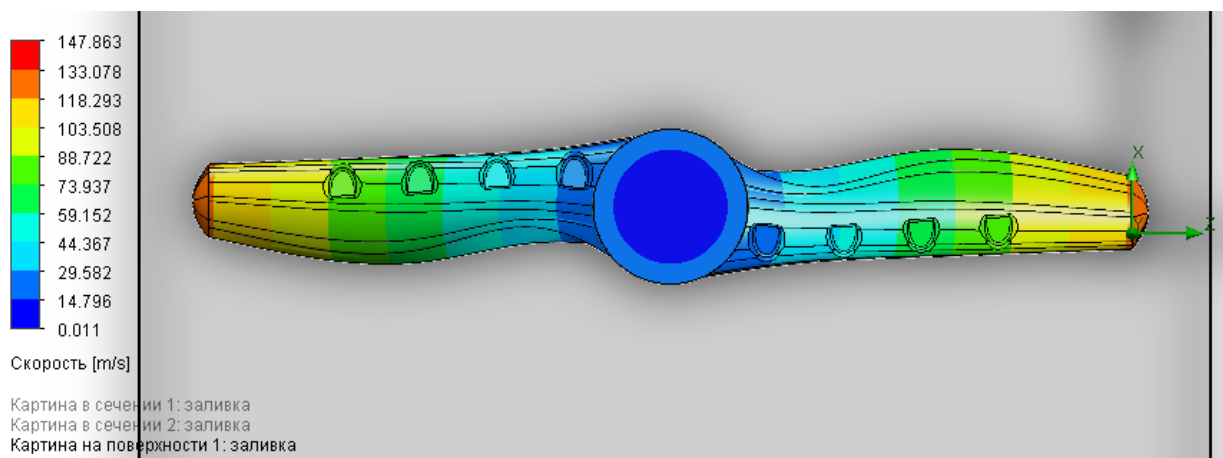


Рисунок 2.7.5 – Картина на поверхности лопасти, по параметру – скорость потока газа

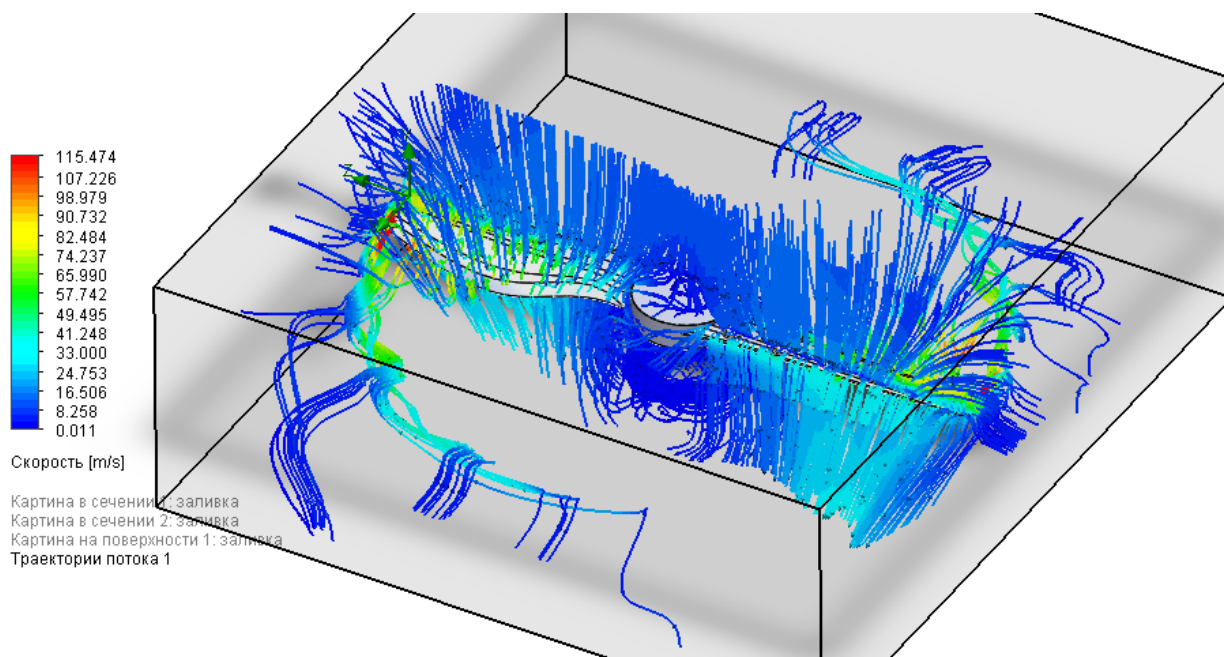


Рисунок 2.7.6 – Картина траекторий потока

Расчёт – видоизменённая лопасть

Угловая скорость 8500 об/мин (890 рад/с).

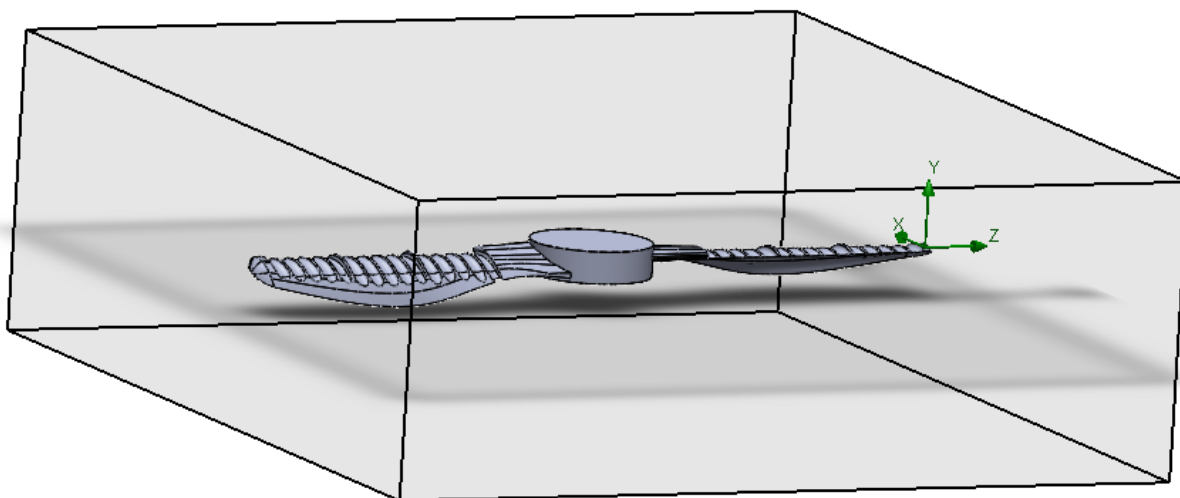


Рисунок 2.7.7 – Вид лопасти

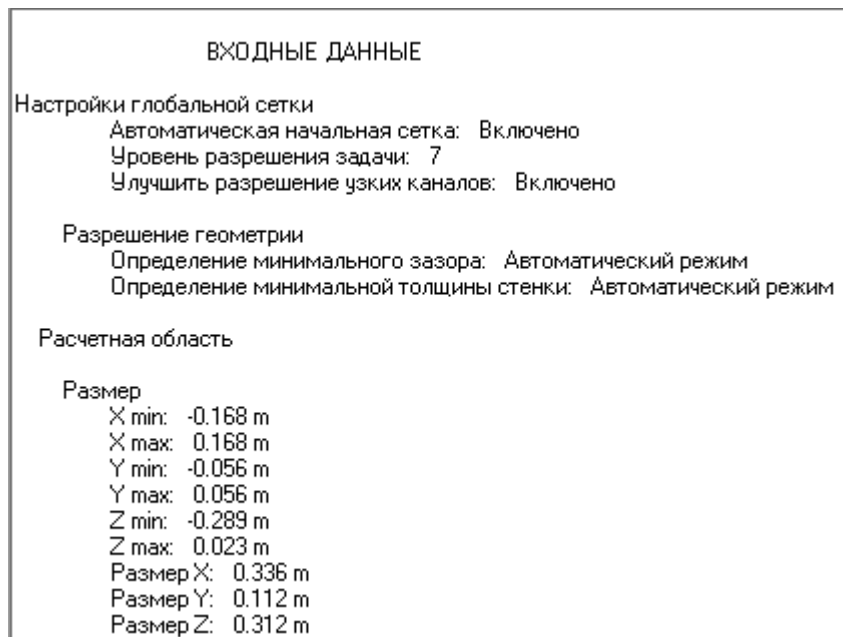


Рисунок 2.7.8 – Уровень сетки

Имя	Текущее значение	Прогресс сходимости	Критерий	Среднее значение
GG Сила (X) 6	-0.0266042 N	Достигнуто (IT = 270)	0.0280356 N	-0.0154882 N
GG Сила (Y) 7	25.8767 N	Достигнуто (IT = 275)	2.3195 N	27.1728 N
GG Сила (Z) 8	0.0128578 N	Достигнуто (IT = 393)	0.00593223 N	0.01147 N
GG Сила 5	25.8767 N	Достигнуто (IT = 275)	2.31955 N	27.1728 N
GG Среднее Интенсивность турбулентности 2	4.8459 %	Достигнуто (IT = 284)	2.33156 %	5.53567 %

Рисунок 2.7.9 – Результат

По результатам расчёта видно, что тяга – среднее значение 27,17 Н (2 771 грамм), турбулентность в районе 5,5 %.

Линия тока — в гидромеханике линия, направление касательной к которой в каждой точке совпадает с направлением скорости частицы жидкости(газа) в этой точке (другими словами, в каждый момент времени частица движется вдоль линии тока). Линия тока является частным случаем векторной линии, когда в качестве векторного поля выступает поле скоростей точек сплошной среды. Набор линий тока даёт представление о потоке жидкости или газа в данный момент времени.

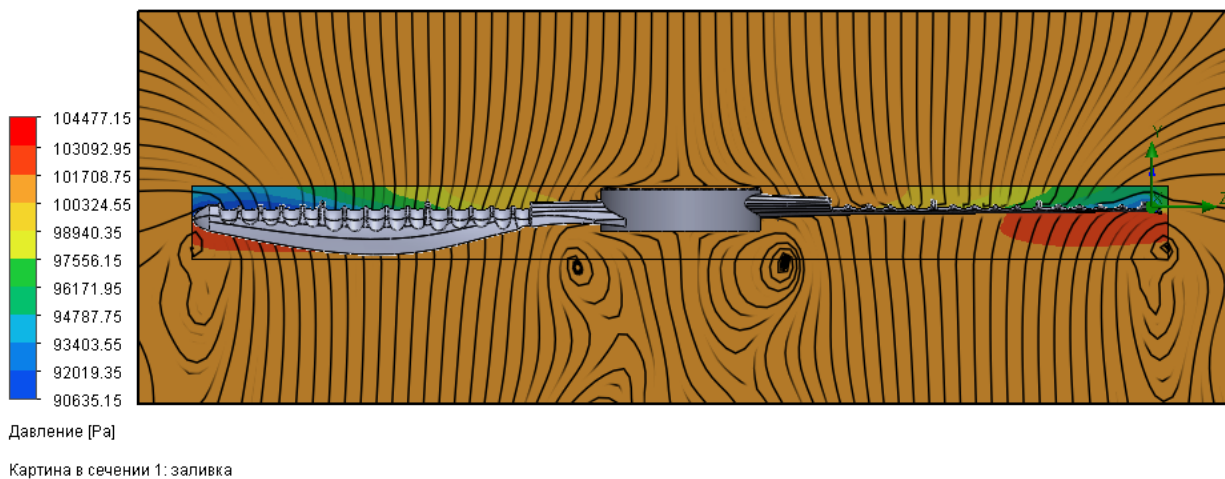


Рисунок 2.7.10 – Области давления (с линиями тока)

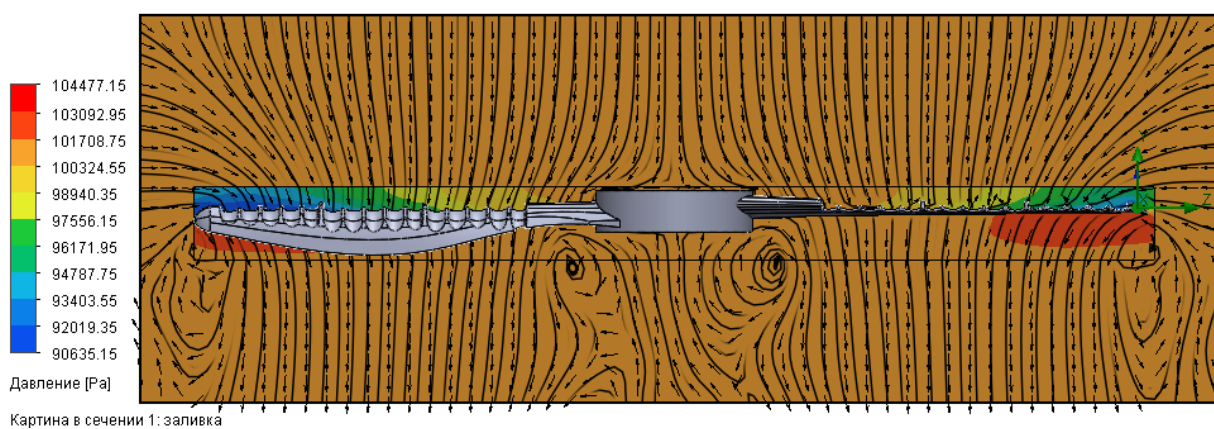
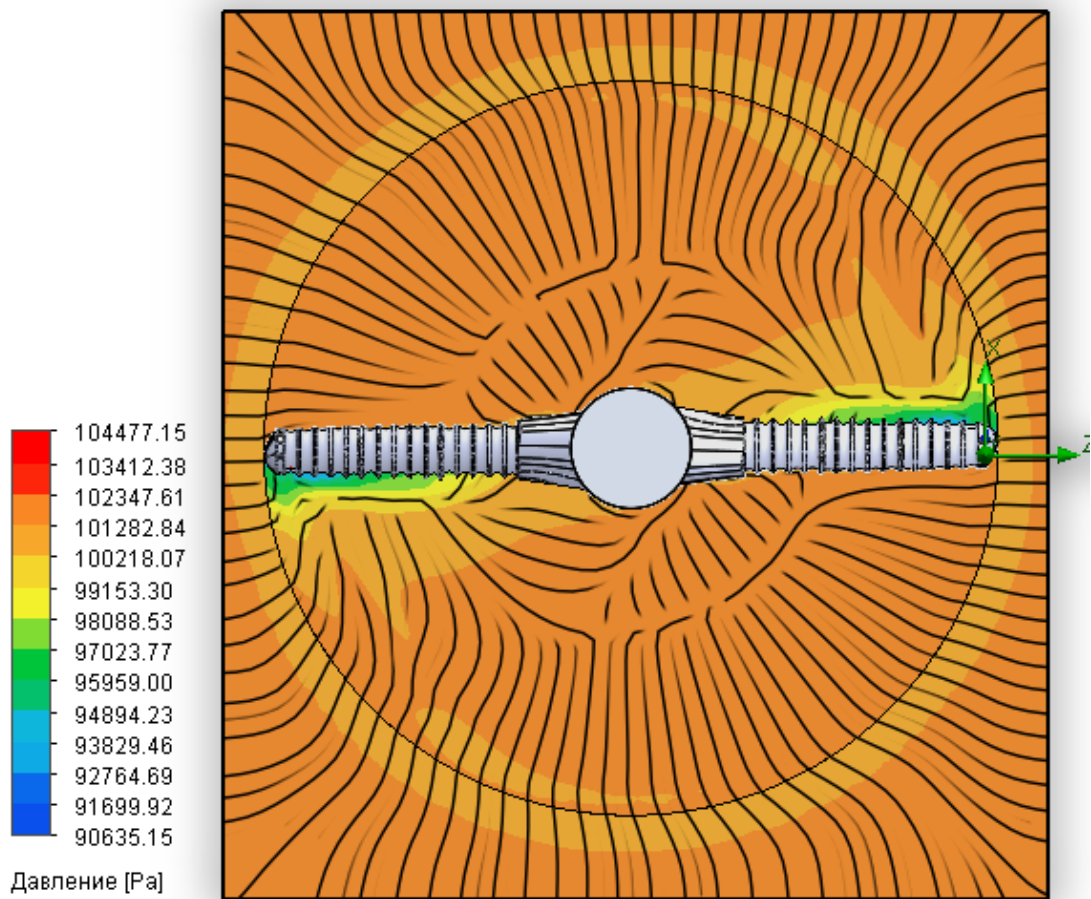
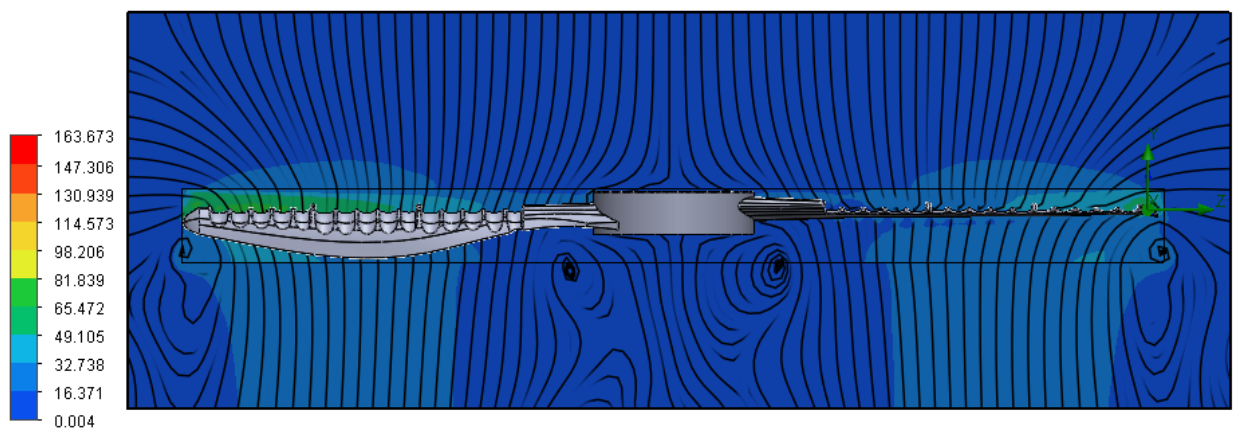


Рисунок 2.7.11 – Области давления (линии тока с указанием направления)



Картина в сечении 1: заливка
Картина в сечении 2: заливка

Рисунок 2.7.12 – Области давления (линии тока) вид сверху



Картина в сечении 1: заливка

Рисунок 2.7.13 – Области показывающие границы скорости потоков воздуха (глобальный максимум)

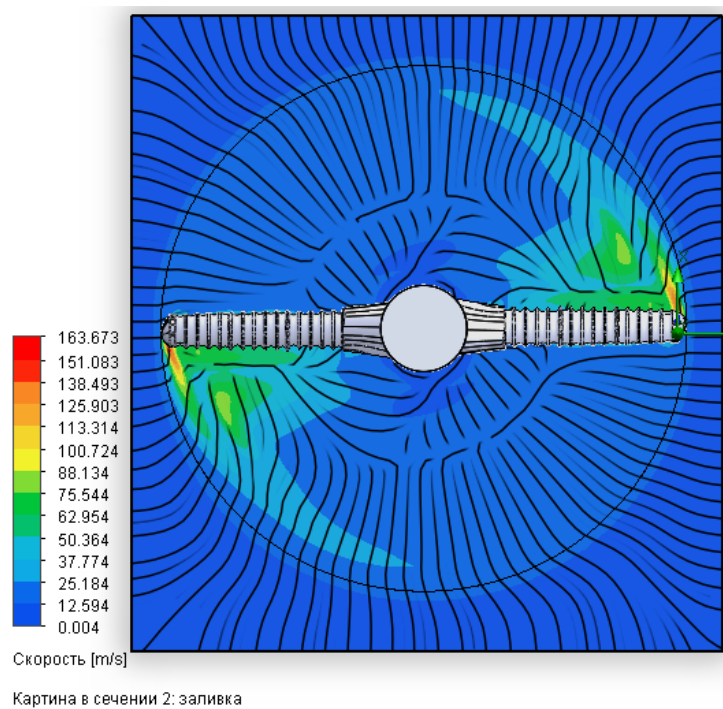


Рисунок 2.7.14 – Области показывающие границы скорости потоков воздуха (вид сверху), (глобальный максимум)

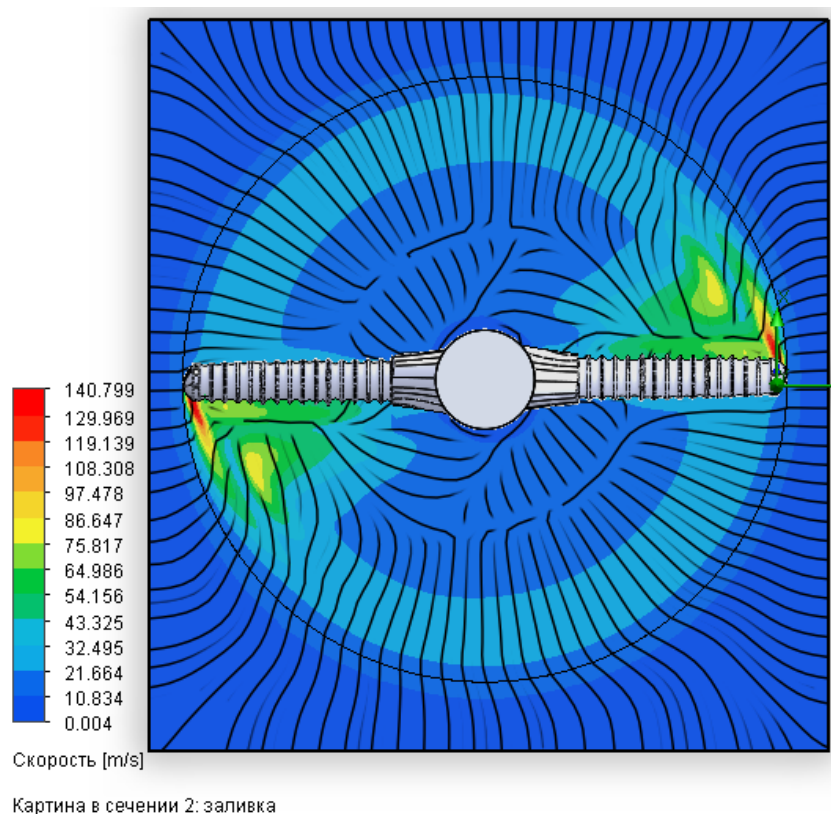


Рисунок 2.7.15 – Области показывающие границы скорости потоков воздуха (вид сверху), (локальный максимум)

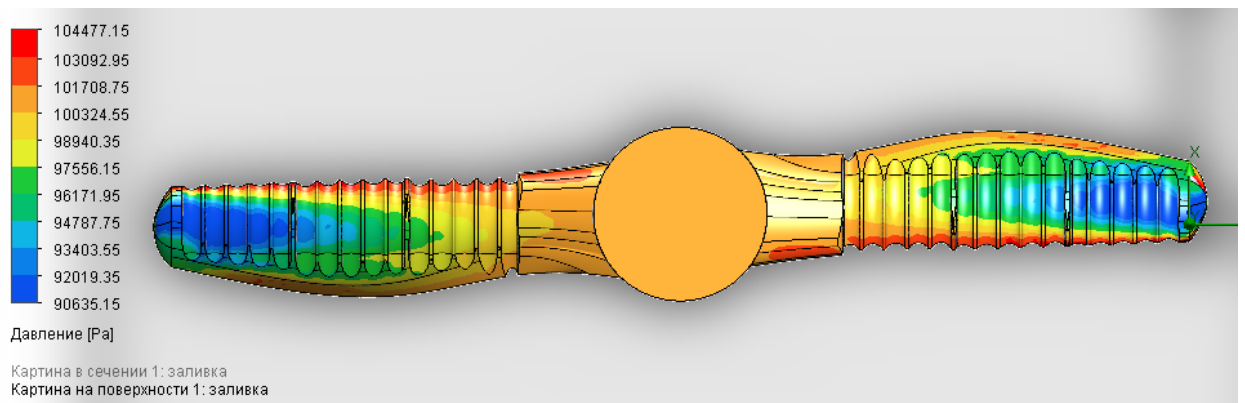


Рисунок 2.7.16 – Картина на поверхности лопасти по параметру – давление

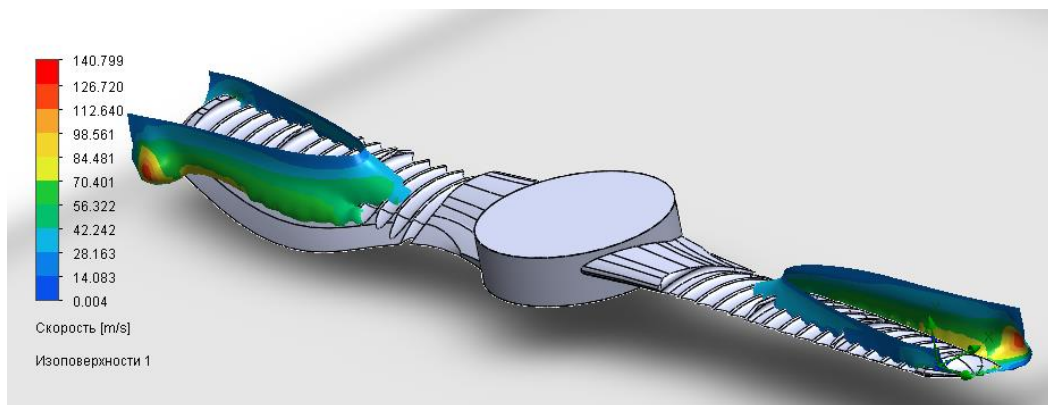


Рисунок 2.7.17 – Изоповерхности

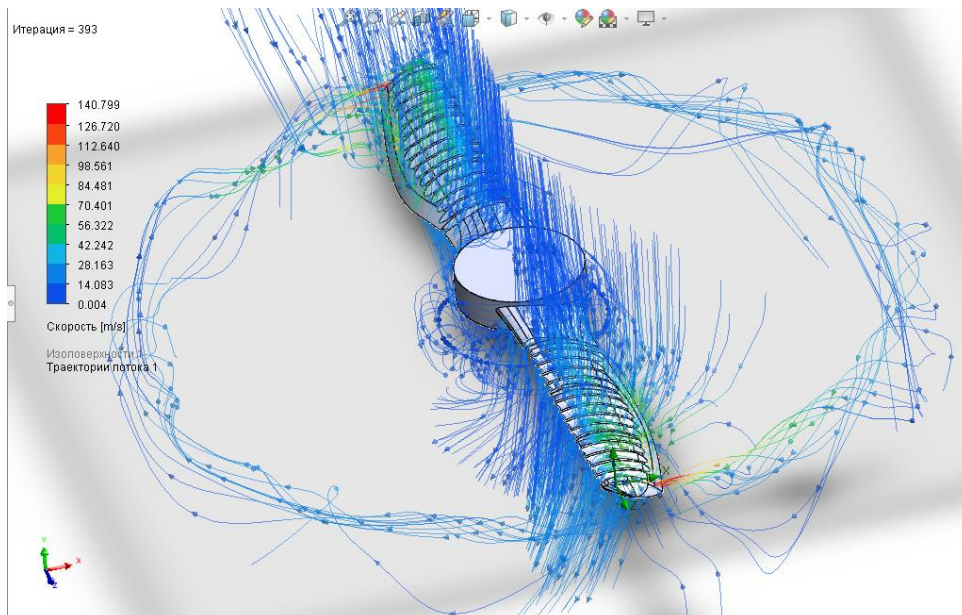


Рисунок 2.7.18 – Картина траекторий потока

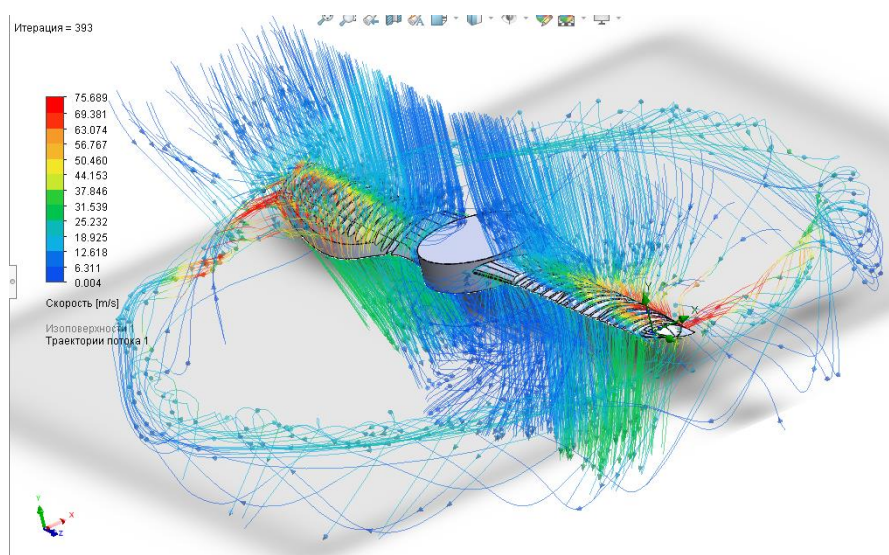


Рисунок 2.7.19 – Картина траекторий потока (скорость движения потоков воздуха в цвете)

3 ВЫВОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рисунках ниже представлены результаты расчёта при разных исполнениях формы лопасти. В таблице 3.1.1 приведены значения подъемной силы и турбулентность потока. Делались следующие изменения: менялась форма канавок; добавлялись дополнительные кромки, направляющие поток; углубления в лопасти разной высоты; изменял положение угла канавки; добавлялись выступы и бугорки.

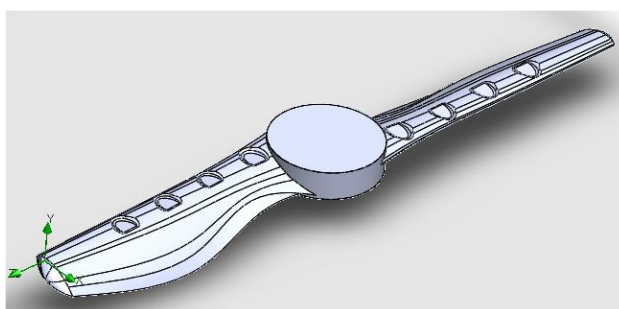


Рисунок 3.1 – Лопасть обычная форма (1)

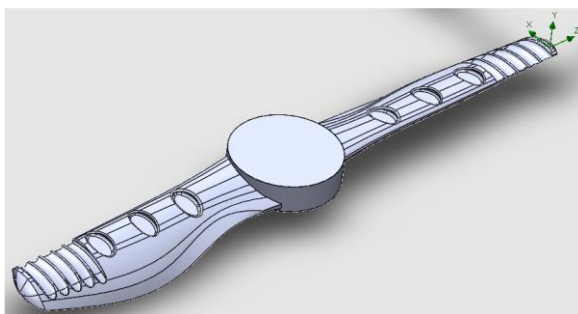


Рисунок 3.2 – Лопасть изменённая форма частично (2)

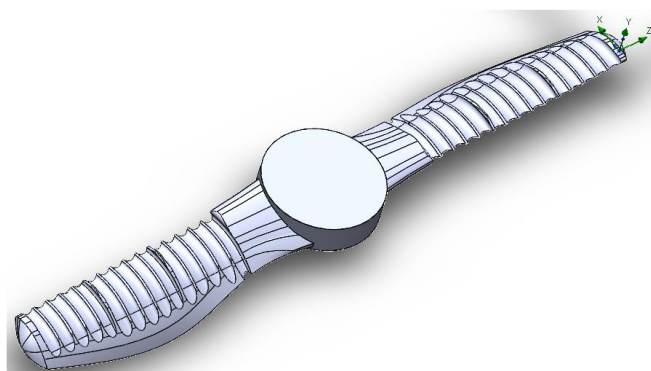


Рисунок 3.3 – Лопасть изменённая форма полностью (3)

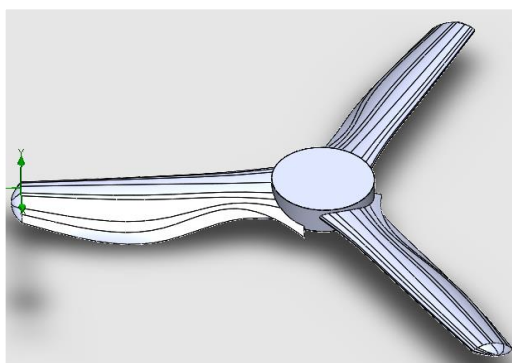


Рисунок 3.4 – Лопасть три кромки (4)

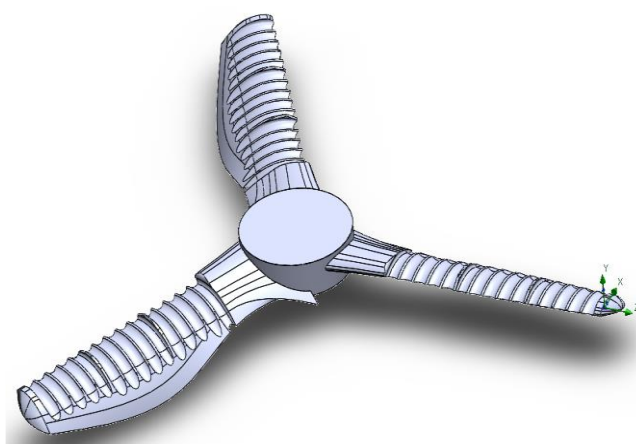


Рисунок 3.5 – Лопасть три кромки изменённая (5)

Таблицы 3.1.1 - Таблица значений 7-й уровень сетки.

№	Название	Тяга Н (кг); среднее	Турбулентность
1	Расчёт лопасти, обычная форма	25,88 (2,64)	4,6 %
2	Расчёт лопасти, изм. форма частично	23,87 (2,43)	4,8 %
3	Расчёт лопасти, изм. форма полностью	27,17 (2,77)	5,4 %
4	Три кромки	28,22 (2,88)	-
5	Три кромки, измен.	38,3 (3,9)	173 %

Поисковые конструкции дали следующий результат. В таблице 3.1.2 приведены значения подъемной силы и турбулентность потока. На рисунках изображения изменений.

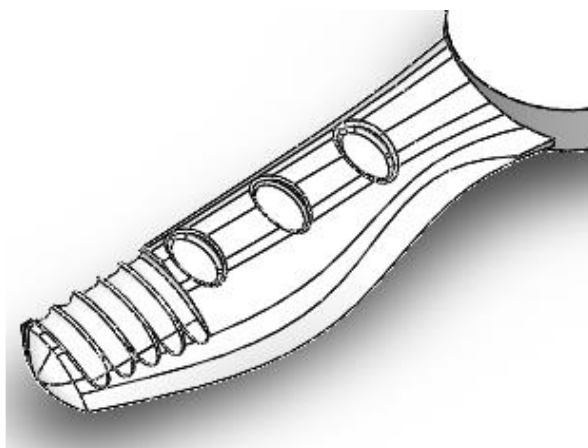


Рисунок 3.6 – Лопасть две кромки изм. канавки (1)

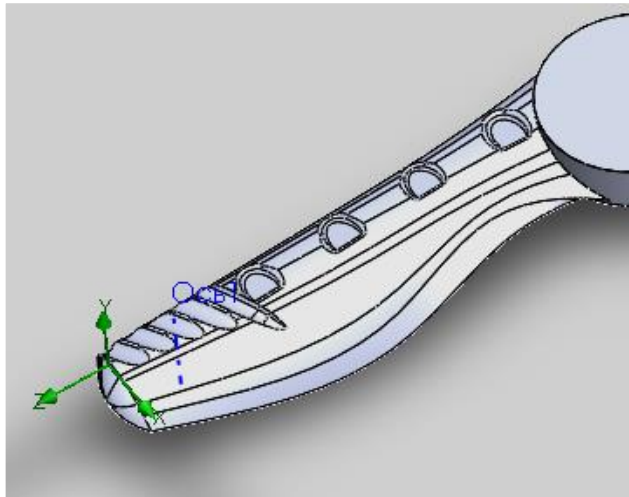


Рисунок 3.7 – Лопасть две кромки изм. угол направ. канавки (2)

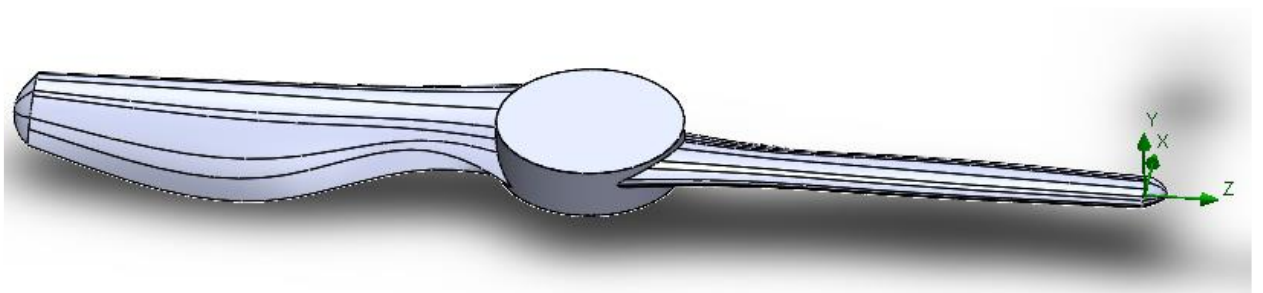


Рисунок 3.8 – Лопасть контрольная (3)

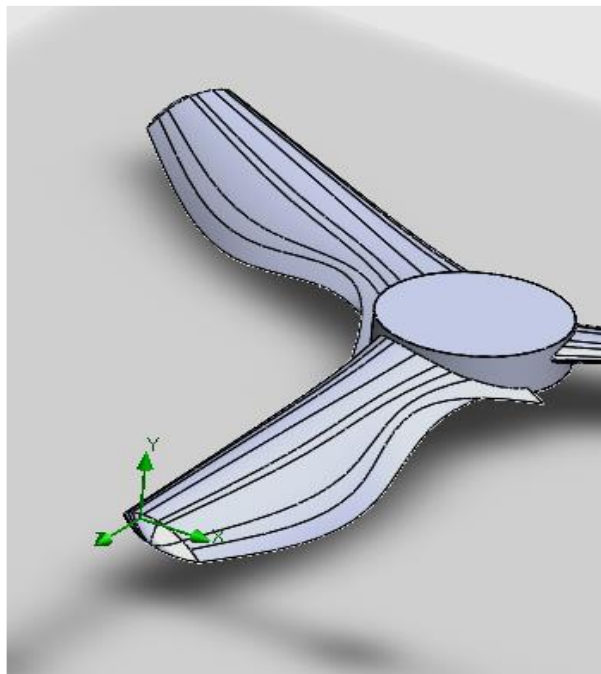


Рисунок 3.9 – Три кромки контрольная (6)

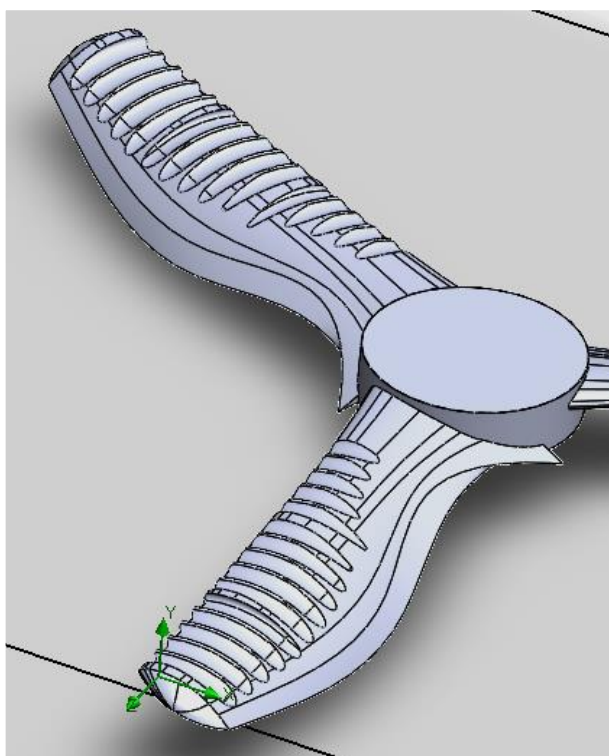


Рисунок 3.10 – Лопасть три кромки, изм. ступенчато(5)

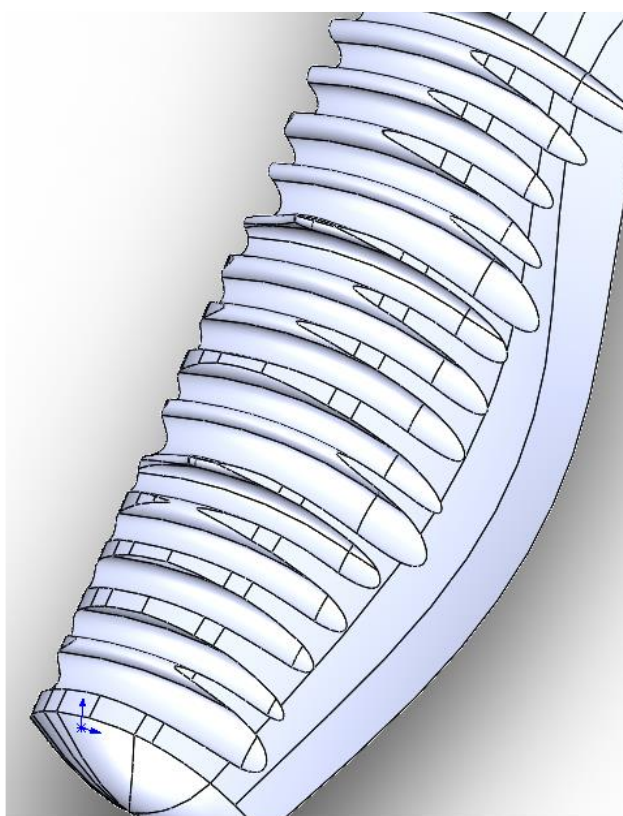


Рисунок 3.11 – Лопасть изменённая

Таблицы 3.1.2 - Таблица значений 3-й уровень сетки.

№	Название	Тяга Н (кг); среднее	Турбулентность
1	Лопасть, две кромки изм. канавки	14,27 (1,45)	4,3 %
2	Лопасть, две кромки изм. угол направ. канав	14,91 (1,52)	4,1 %
3	Лопасть контрольная	16,1 (1,6)	4 %
4	Три кромки, измен.	23 (2,35)	5,1 %
5	Три кромки, изм. ступенчато	21,1 (2,15)	4,4 %
6	Три кромки контрольная	18 (1,83)	-

Про турбулентность

Главным образом обращено внимание на:

1. Скорости набегающего потока.
2. Турбулентности.
3. Направленности потока.

Проанализировав картины на поверхности лопасти, траекторий потока, перепад давлений, скорость потока газа, картины изоповерхности. Прослеживаются закономерности. Эффективность лопасти в режиме висения прямо пропорциональна коэффициенту его аэродинамического качества (зависит от формы), диаметру и квадратному корню из атмосферного давления. Обратно пропорциональна квадратному корню из температуры воздуха (в Кельвинах) и квадратному корню из силы тяги, которую должна создавать лопасть. Воздух поверх лопасти совершает больший путь, поэтому двигается быстрее чем воздух под крылом. Увеличение скорости потока приводит к снижению давления. Более высокое давление под лопастью толкает его в верх. Далее представление скорости потока.

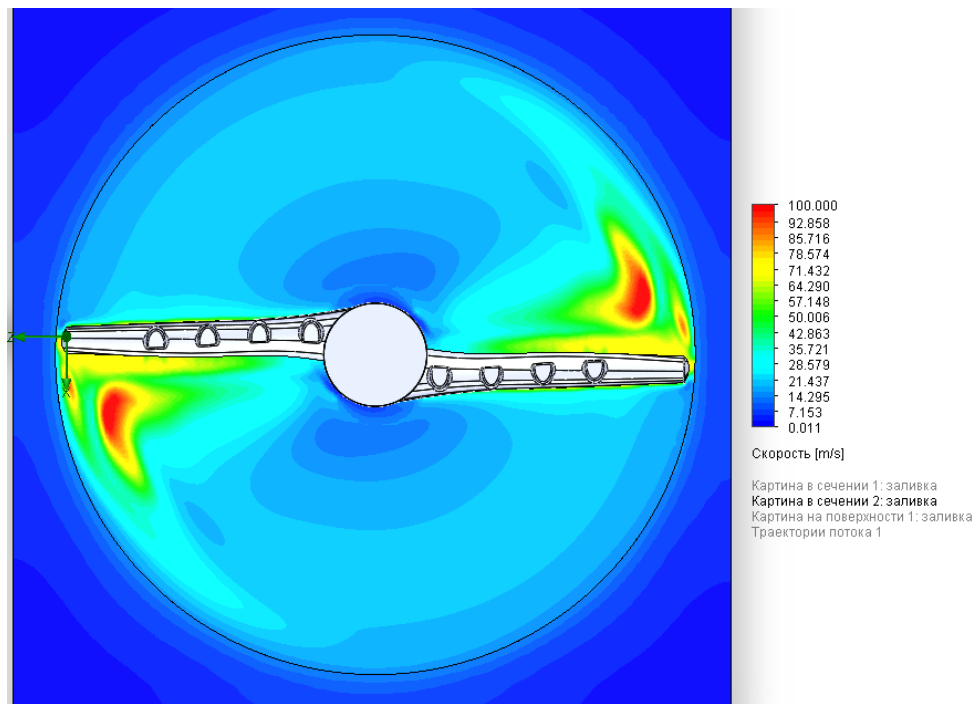


Рисунок 3.1 – Области показывающие границы скорости потоков воздуха

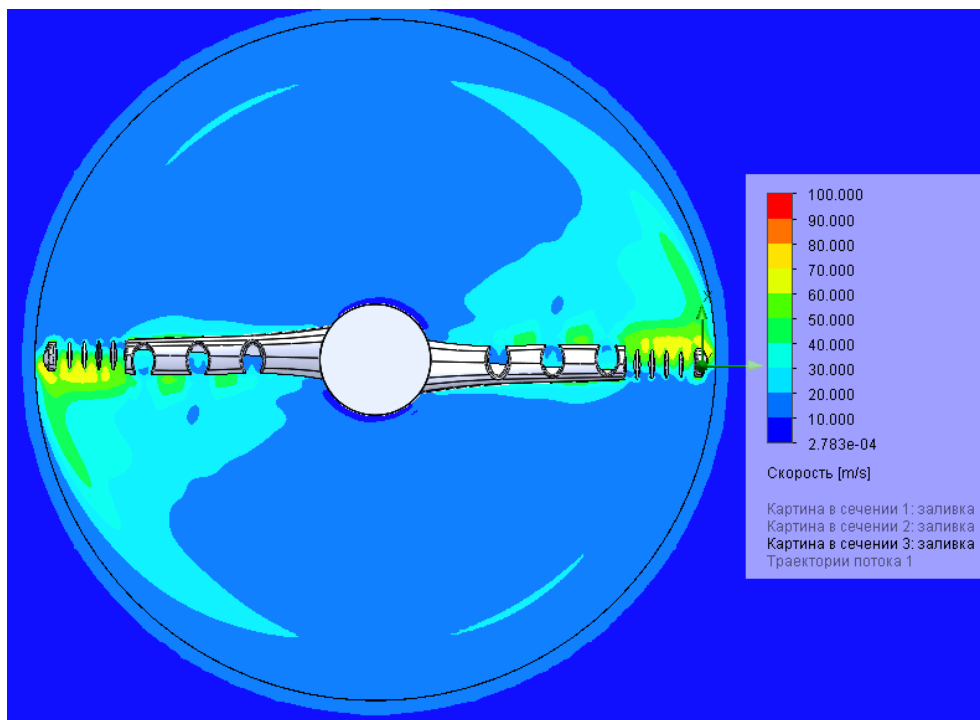


Рисунок 3.2 – Области показывающие границы скорости потоков воздуха

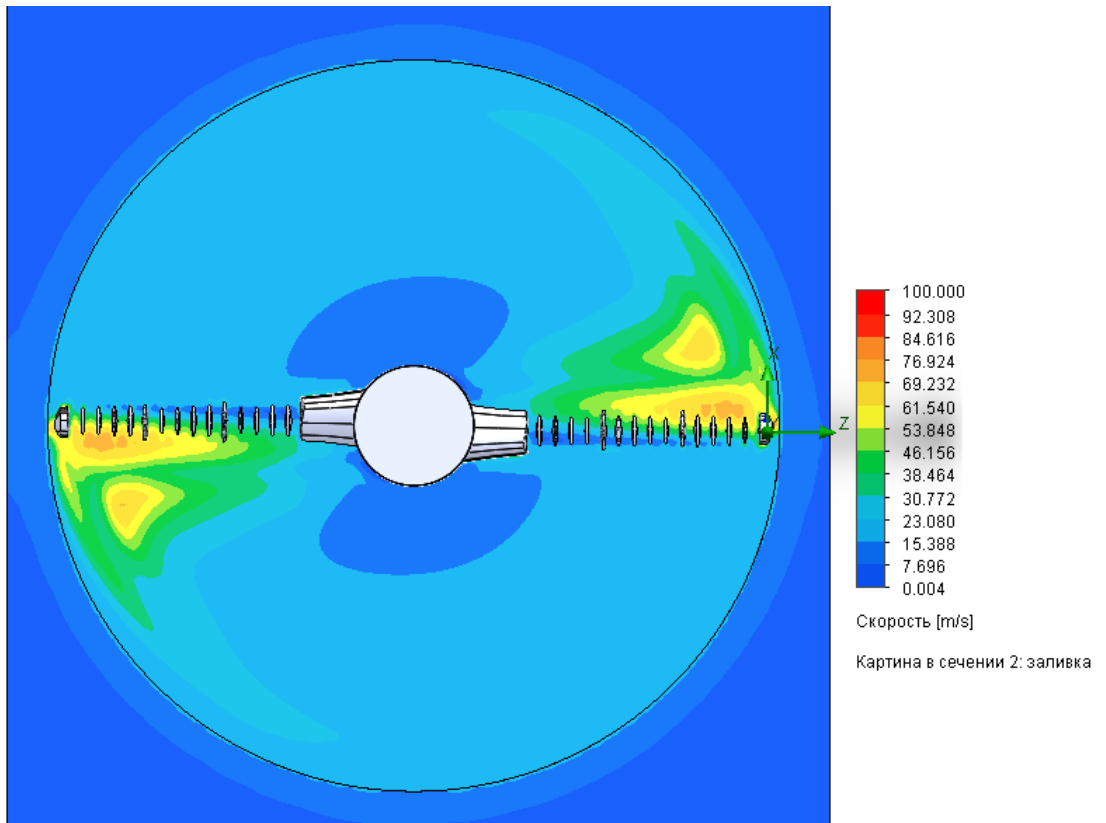


Рисунок 3.3 – Области показывающие границы скорости потоков воздуха

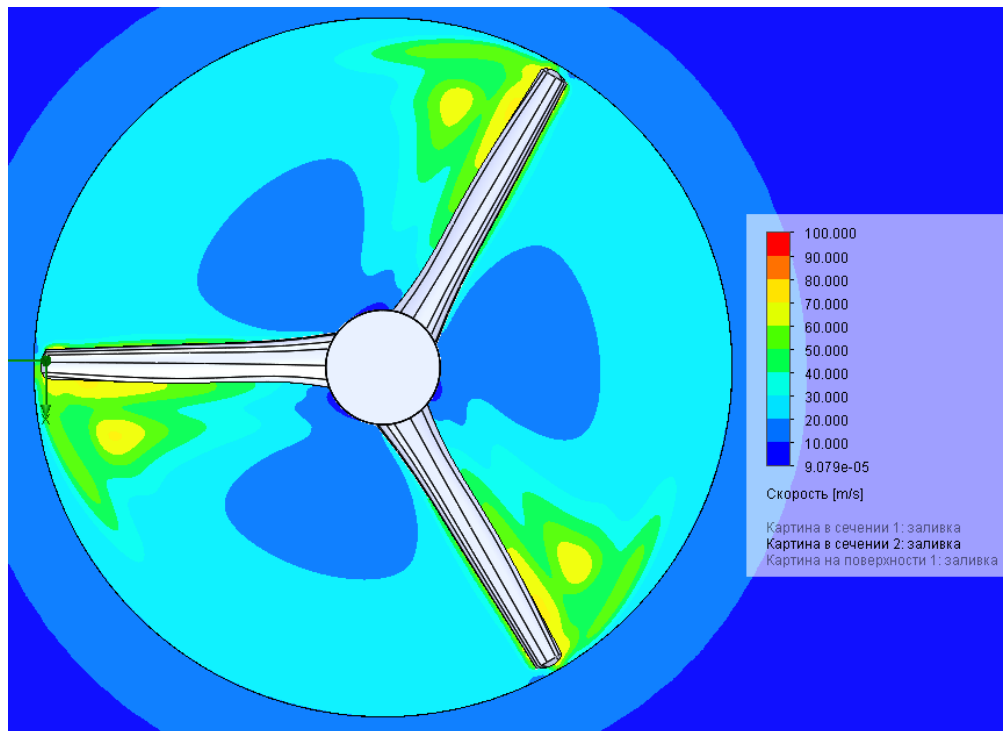


Рисунок 3.4 – Области показывающие границы скорости потоков воздуха

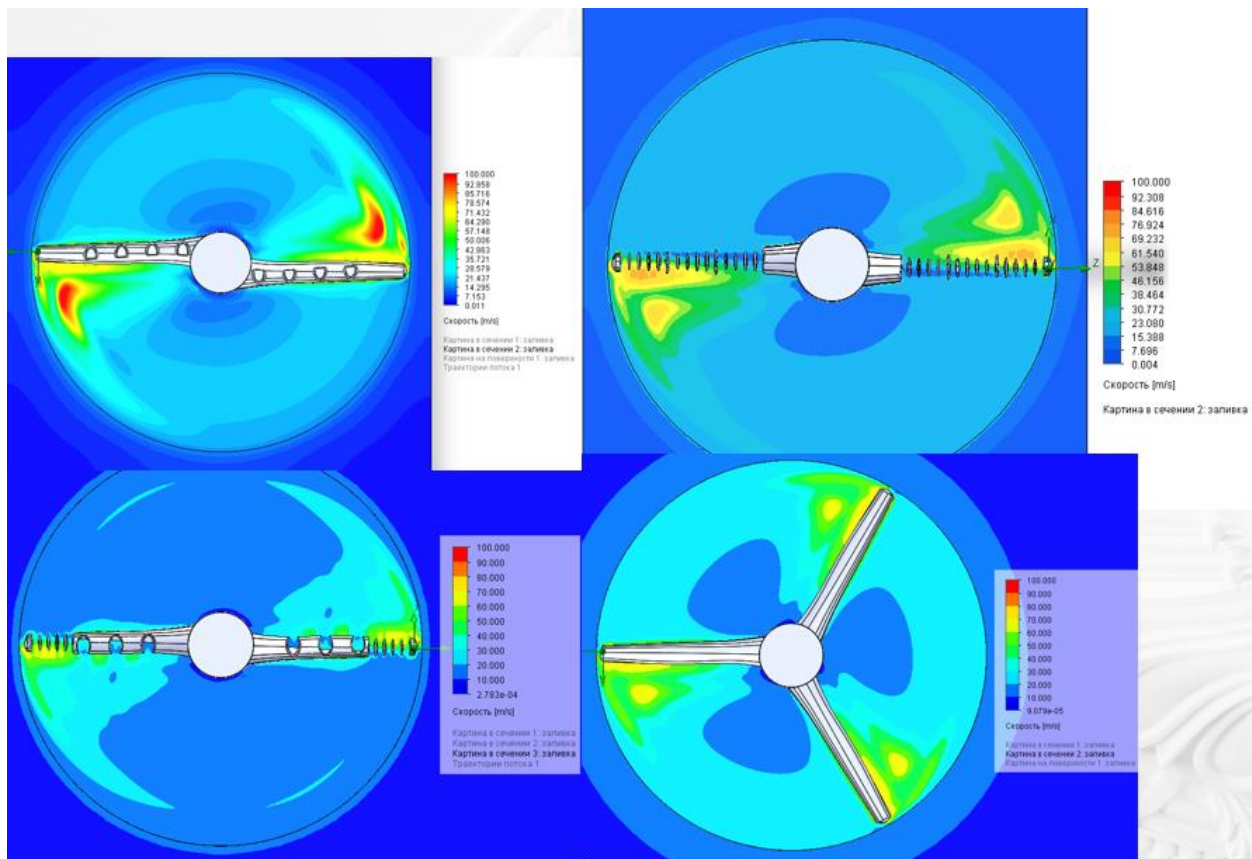


Рисунок 3.5 – Области с цветовой заливкой

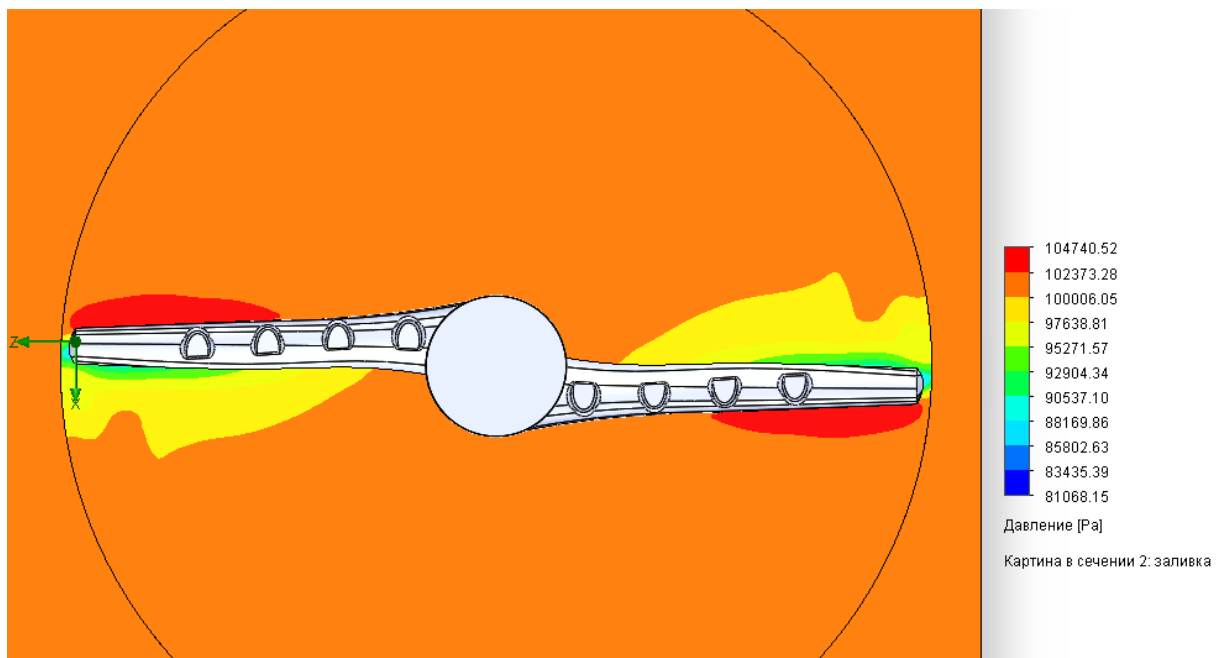


Рисунок 3.6 – Области давления вид сверху

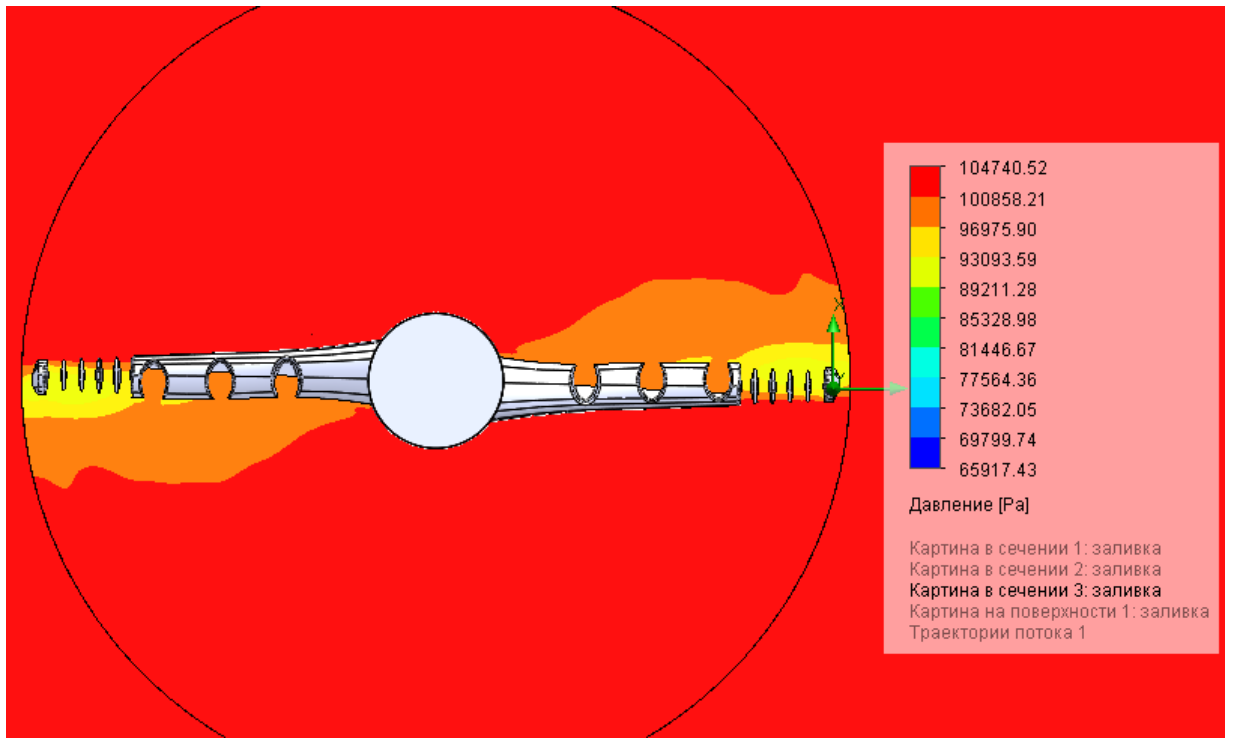


Рисунок 3.7 – Поля давления вид сверху

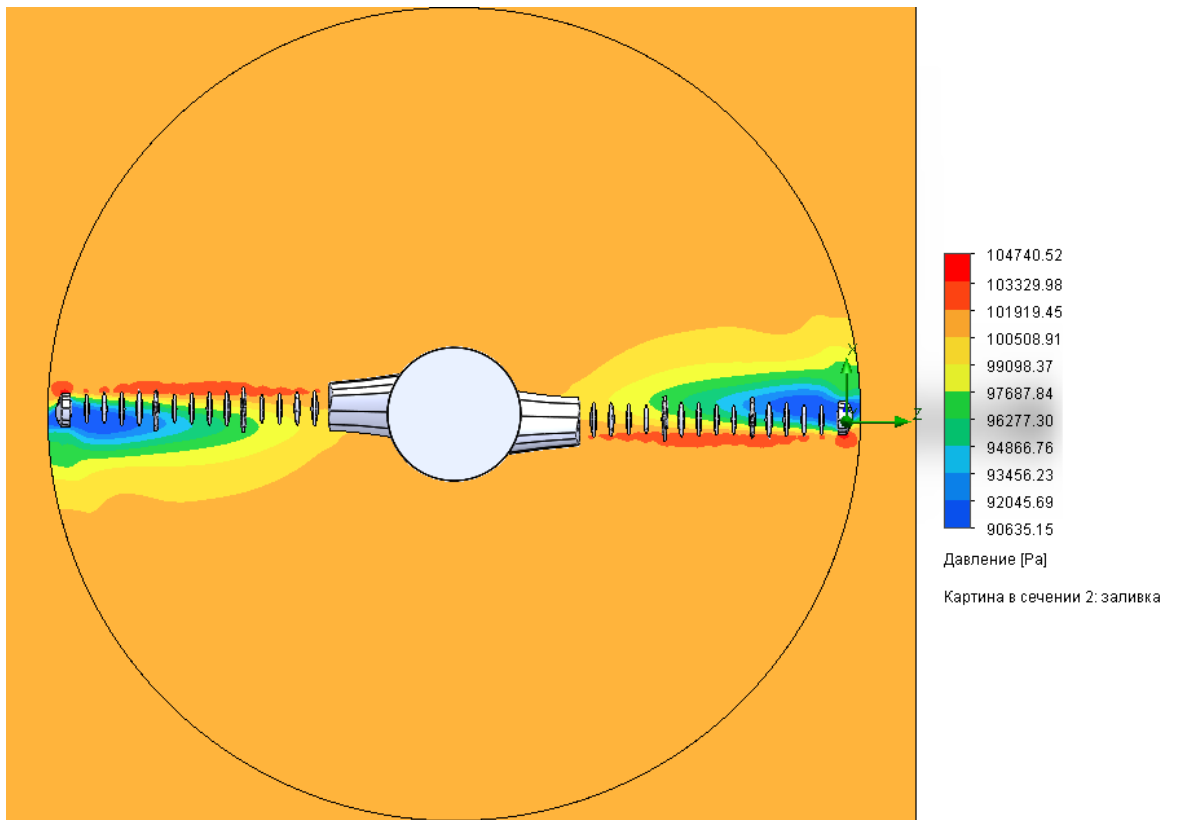


Рисунок 3.8 – Поля давления вид сверху

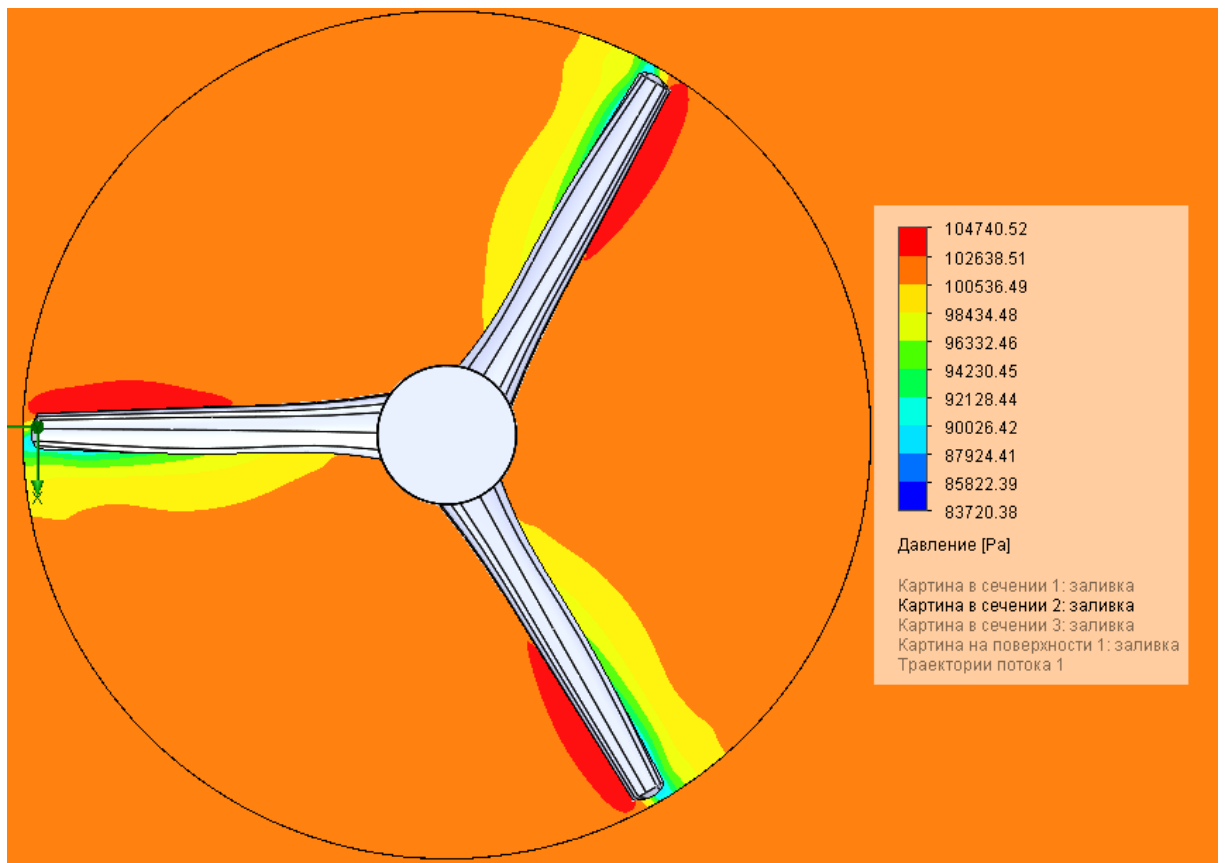


Рисунок 3.9 – Поля давления вид сверху

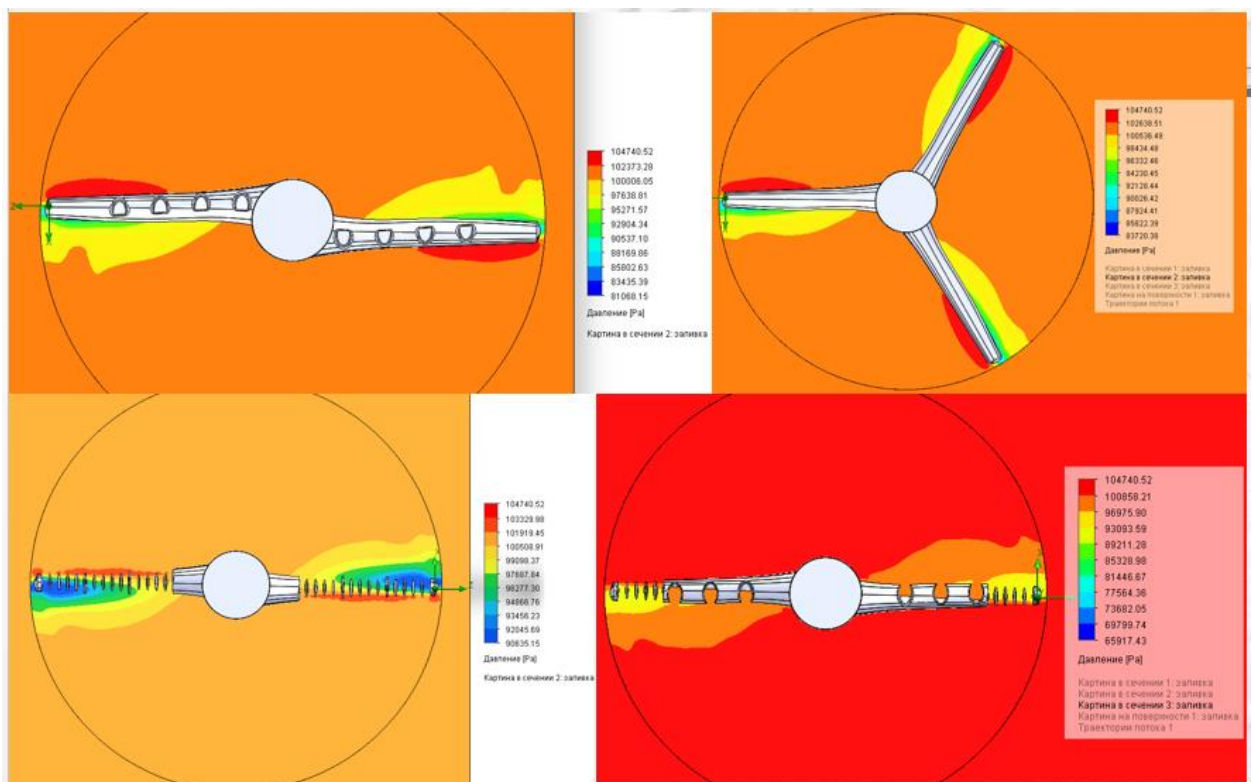


Рисунок 3.10 – Области с цветовой заливкой

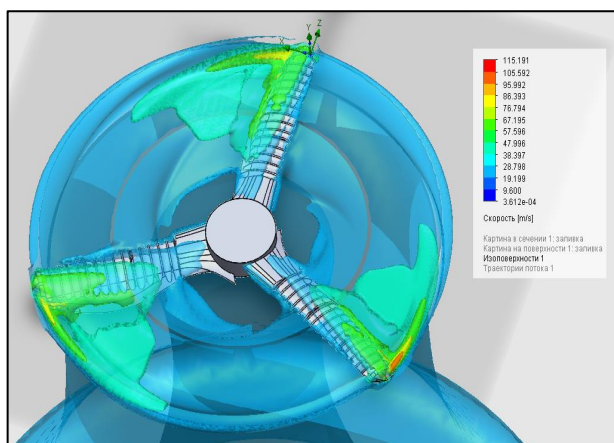


Рисунок 3.11 – Изоповерхности

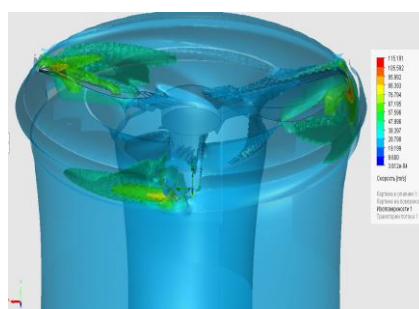


Рисунок 3.12 – Изоповерхности

Заключение по разделу

Наглядно продемонстрирована возможность упрощённой разработки трехмерной модели любой сложности, а также проведение испытания методами численного моделирования. В дальнейшем, с развитием компьютерных технологий и вычислительных мощностей станет возможным максимально сократить и удешевить производственный цикл любого изделия.

Необходимо и дальше развивать направление, так как в настоящее время, методы математического моделирования все еще недостаточно точны и не позволяют проводить многие сложные инженерные расчеты. Необходимо уделить время на верификацию, полученных в результате численного эксперимента, данных. Но не для всех типов расчётов.

Результаты данной работы могут требовать дополнительной доработки, так как в полученной трехмерной модели имеются упрощения и некоторые неточности, которые могут отразиться на результаты расчетов.

4 ГЛАВА – ЭКСПЕРЕМЕНТ

После того как использование инструментов численного моделирования дало возможность рассмотреть множество прототипов и подобрать оптимальный вариант конструкции, учесть все физические факторы, влияющие на характеристики изделия, провести виртуальную испытания всех моделей, причем в реальных масштабах, без применения различных критериев подобия и коэффициентов масштабирования. Что помогло сократить число физических образцов и тем самым снизить себестоимость и трудоемкость разработки. Кроме того, результаты численного моделирования интегрируются в концепцию цифрового двойника изделия.

Далее необходимо оценить степень достоверности путём валидации. Верификация по ряду причин не рассматривалась. (Верификация – это процесс определения степени полноты, адекватности и уровня точности численной реализации принятой концептуальной модели. Проблема верификации математических моделей газодинамических явлений затрагивает вопросы сплошной среды, дискретной математики и верности сложных логических структур (компьютерных кодов).)

Задача валидации – установить, в какой мере адекватность формальных теоретических конструкций (математических моделей) может быть проверена данными физических наблюдений. Валидация позволяет определить, насколько точно выбранная концептуальная модель описывает исследуемое физическое явление путем сопоставления численных и экспериментальных данных [14].

Для валидации полученных значений подготовлено оборудование для проведения эксперимента. Суть – нагружать конструкцию грузами,

параллельно взвешивая, смотреть при каких значениях массы произойдёт, отрыв от поверхности мотора с лопастями. На рисунке 5.1 изображены лопасти с моторчиками от квадрокоптера с неизвестными параметрами. На рисунке 5.2 собрано необходимое оборудование и инструмент для сбора и запуска. На рисунке 5.3 изображена платформа с взвешиванием, надстройками для обеспечения отсутствия запрокидывания конструкции, секцией для догрузки грузами в виде монет. Монеты граммовкой 2 грамма, 4 грамма, 5 грамм, 7 грамм, 8 грамм, 10 грамм.

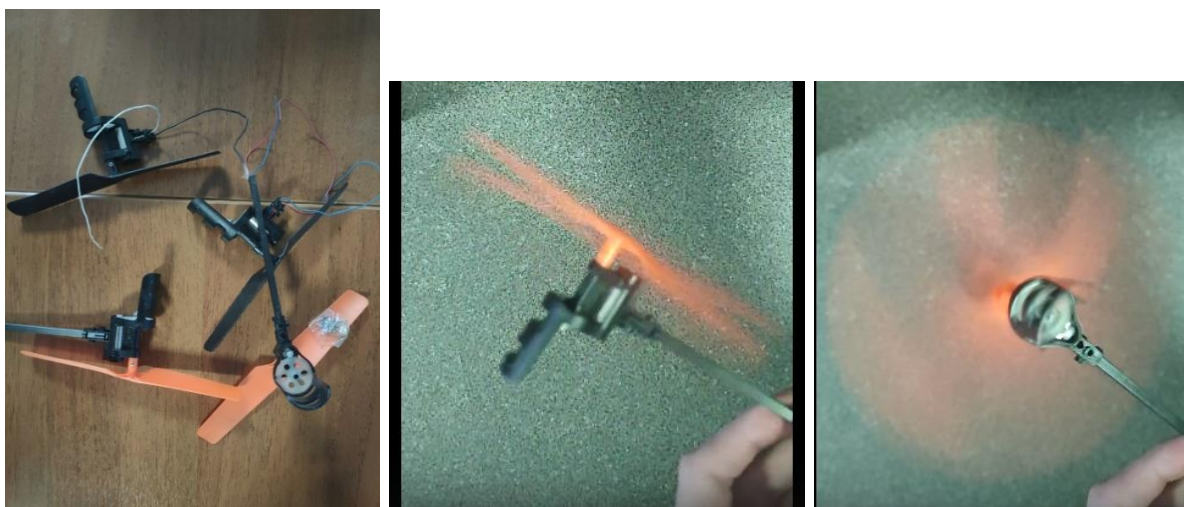


Рисунок 4.1 – Лопасти с моторчиками

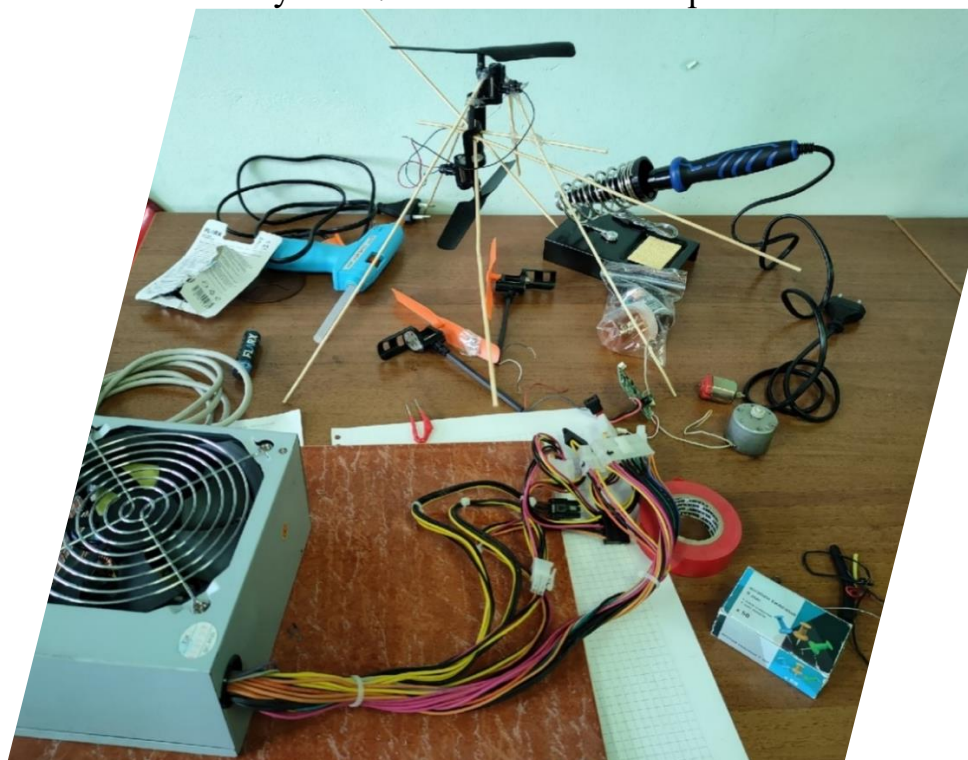


Рисунок 4.2 – Необходимое для проведения эксперимента



Рисунок 4.3 – Лопасты на опорах, масса конструкции



Рисунок 4.4 – Масса моторчика и элемента нагружения



Рисунок 4.5 – Масса элементов нагружения

Так как обороты двигателя не известны, нет обозначений, маркировки. Узнаётся опытным путём. Запускается вращение лопасти, подводится в зону вращения любой жёсткий пруток. Происходит соударение лопасти с прутком, создаётся характерный шум. С помощью звукозаписи записывается дорожка звука и анализируется. Максимальная амплитуда (частота) соответствует звуку соударения части лопасти о пруток в единицу времени. Считается количество ударов за единицу времени. Считаются максимальные амплитуды. Таким образом приблизительно понятно какое количество оборотов в единицу времени совершает лопасть. Пример звуковой дорожки на рисунке 4.6 и 4.8. Проводится необходимое количество экспериментов до достаточного понимания закономерностей и относительного совпадения(постоянства) результатов вращения лопасти. При необходимости происходят до настройки. Определено среднее значение - 10 000 оборотов в минуту (1048 радиан/с).



Рисунок 4.6 – Более удачная звуковая дорожка шума от ударов прутка о край лопасти

Фиксируется на бумаге, проводится анализ, рисунок 4.7

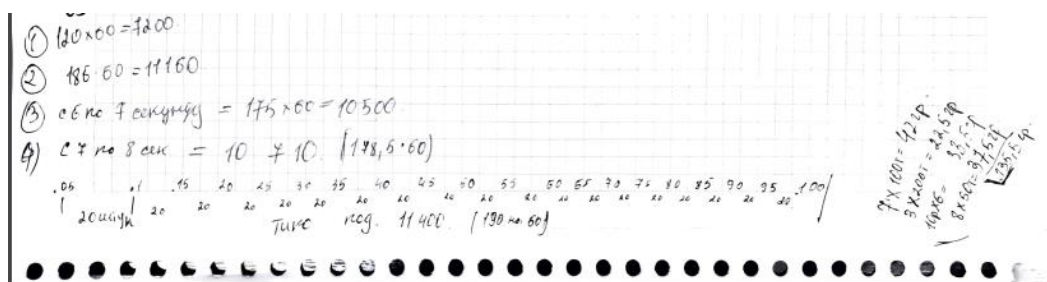


Рисунок 4.7 – Фиксирование замеров

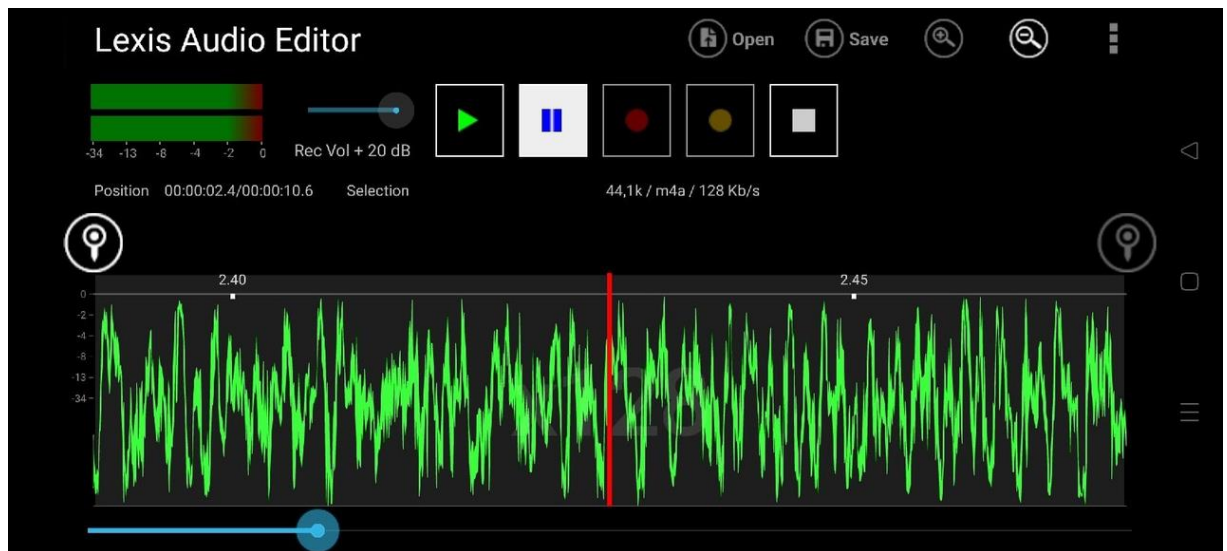


Рисунок 4.8 – Менее удачная звуковая дорожка шума от ударов прутка о край лопасти

Имеется лопасть, переносим размеры в 3D модель SOLIDWORKS, для численного моделирования. Лопасть показана на рисунке 4.9. Снятие размеров на эскизе и определение линейных зависимостей показаны на рисунке 4.10.



Рисунок 4.9 – Лопасть

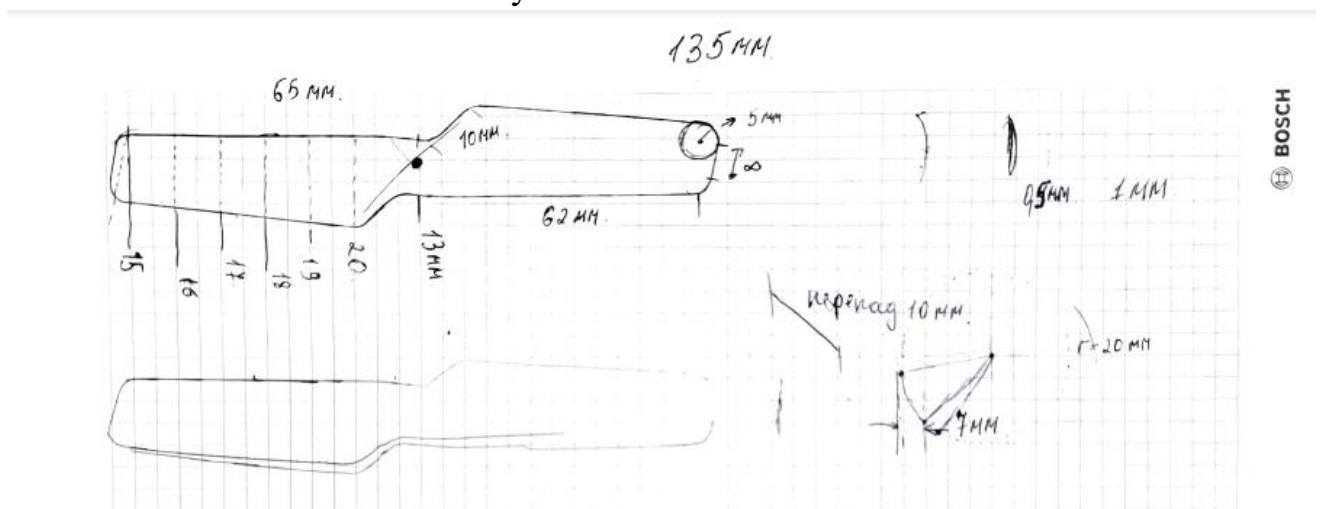


Рисунок 4.10 – Эскизирование

Визуальное сравнение 3D модели в SOLIDWORKS и исходной лопасти, рисунок 4.11 и рисунок 4.12.



Рисунок 4.11 – Фокусирование камеры на реальной лопасти

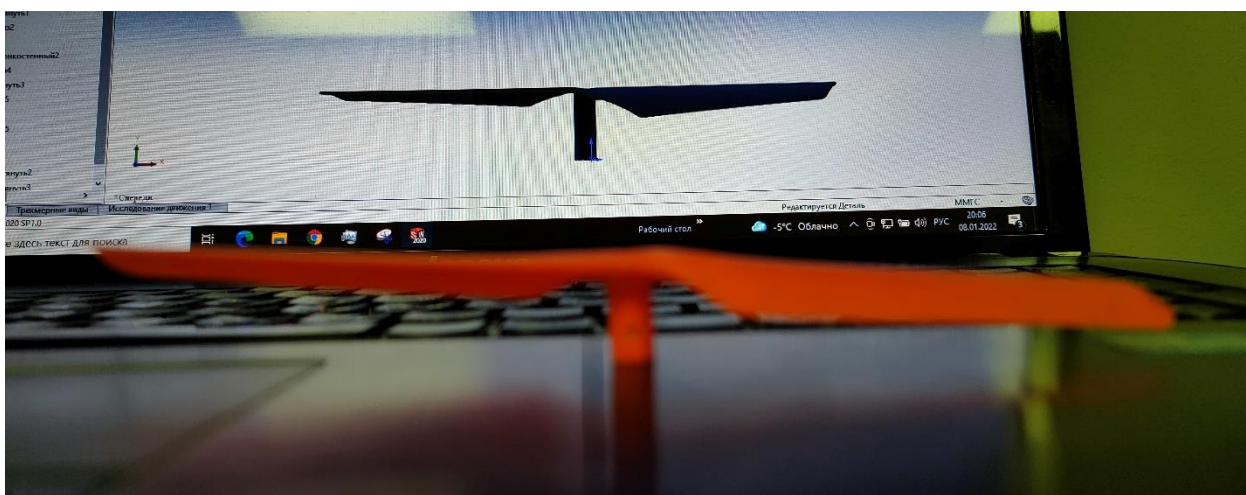


Рисунок 4.12 – Фокусирование камеры на 3D модели в SOLIDWORKS

Примечание: законцовки лопастей на 3D модели (именно на рисунках 4.11, 4.12) повёрнуты на 180 градусов. Сделано это специально для дальнейшего исследования.

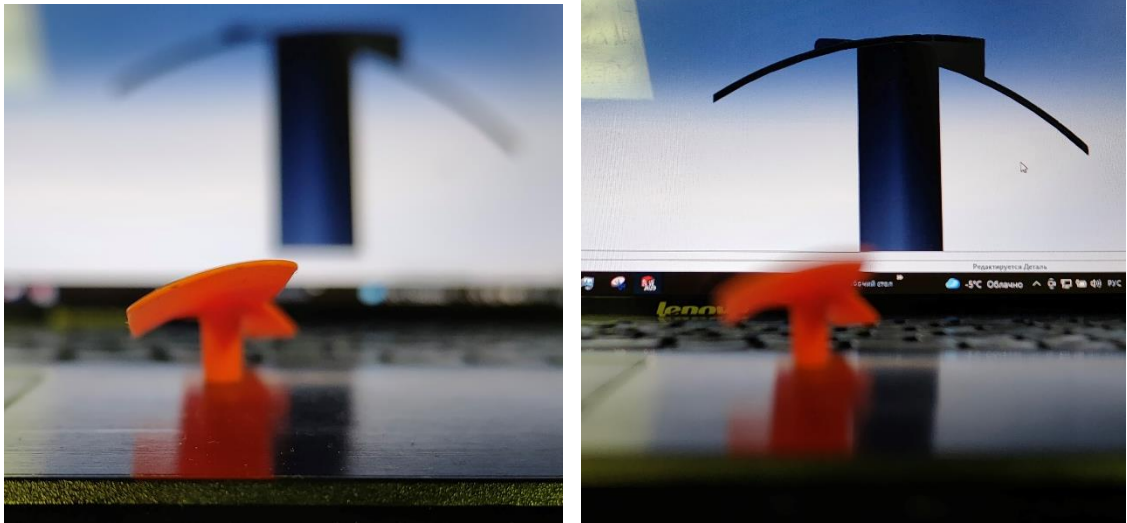


Рисунок 4.13 – Вид с боку

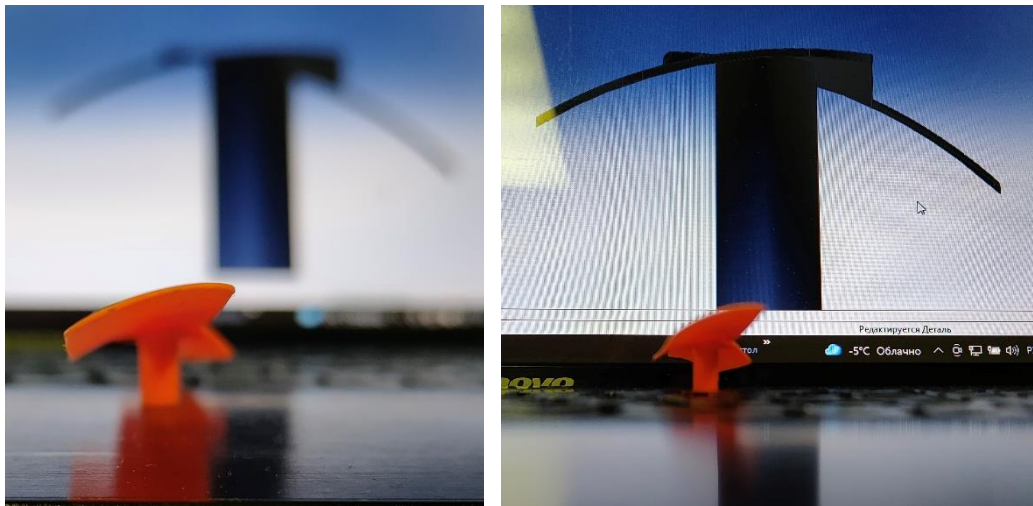


Рисунок 4.14 – Вид с боку

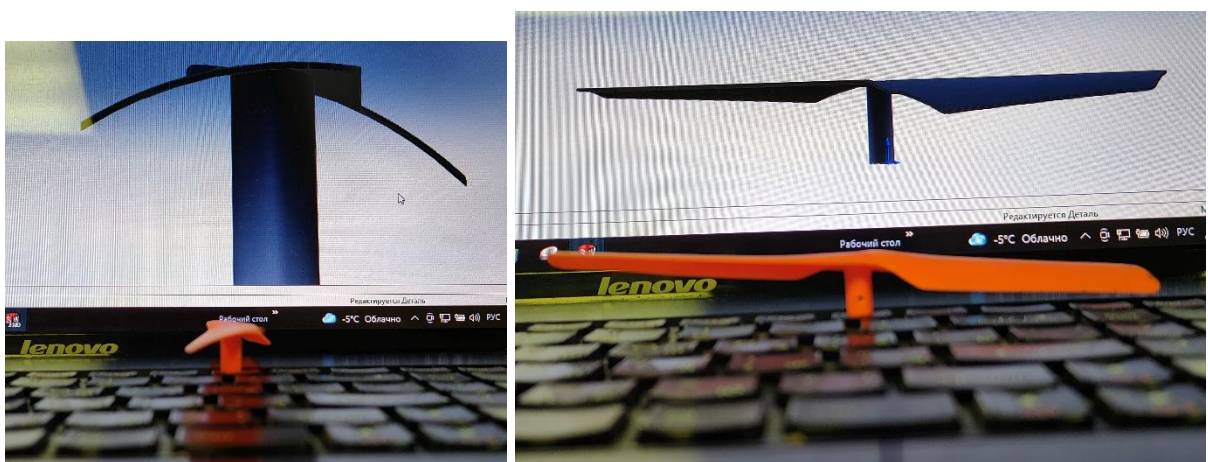


Рисунок 4.15 – Визуальное сравнение

Расчёт. Результаты расчётов приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – результаты расчётов

№	Название	Тяга Н (грамм); среднее	Турбулентность, %
1	Лопасть 1	1,09 (111)	1000
2	Лопасть 2	0,63 (64)	1000
3	Лопасть 3	0,7 (71)	1000
4	Лопасть 4	1,35 (138)	1000
5	Лопасть 5	2,2 (224)	1000

Лопасть 1 – повторяет форму исходной оранжевой лопасти, рисунок 4.16. В лопасти 2 были изменены законцовки, рисунок 4.17. В лопасти 3 изменены законцовки и скругления, рисунок 4.18. Лопасть 4 и лопасть 5 отличается изгибом, лопасть 5 еще и законцовкой. В приложении приведены результаты расчёта.

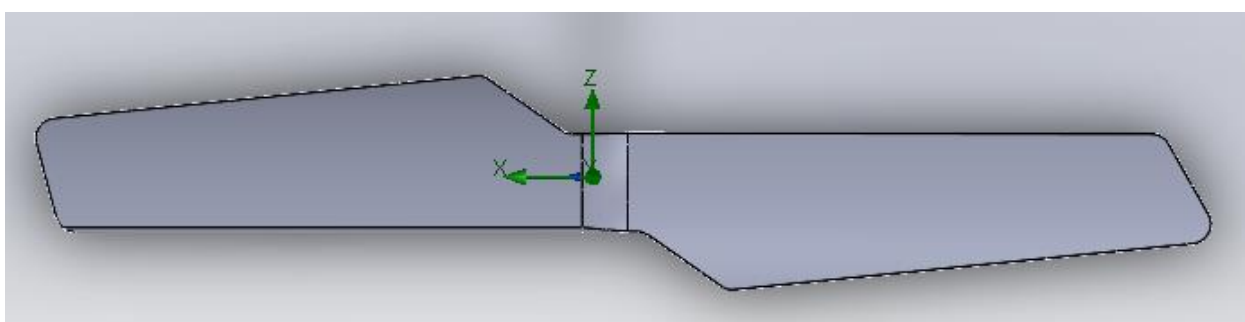


Рисунок 4.16 – Лопасть 1 (исходная)

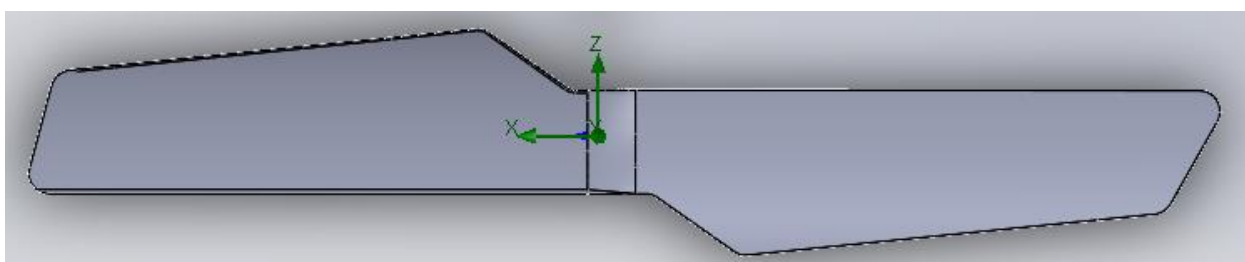


Рисунок 4.17 – Лопасть 2 (изменены законцовки)

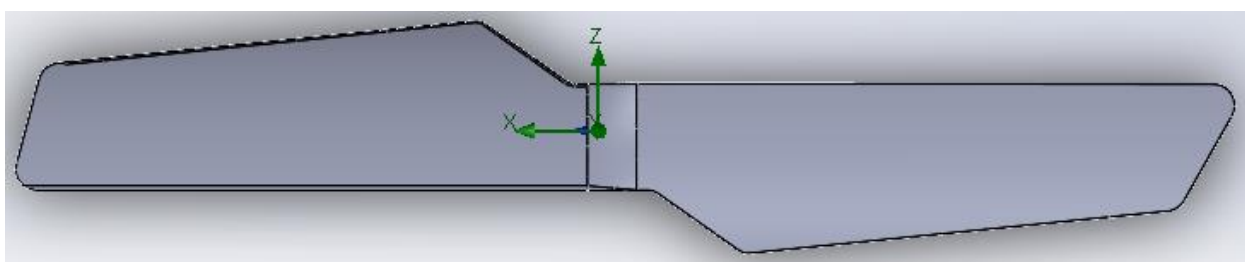


Рисунок 4.18 – Лопать 3 (изменены законцовки, скругления)

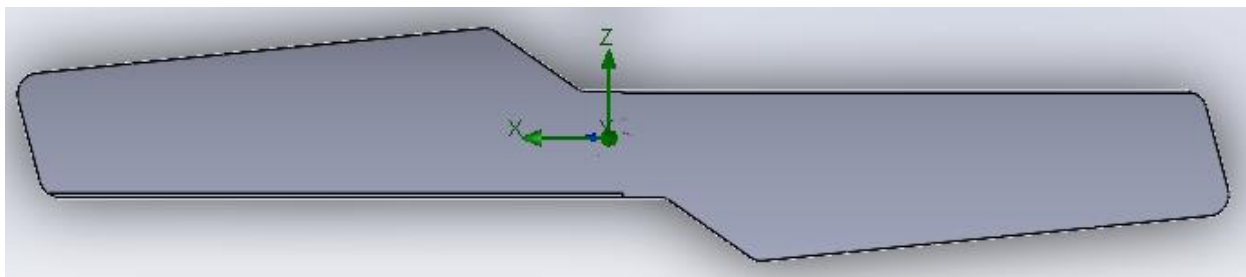


Рисунок 4.19 – Лопать 4 (убран перегиб)

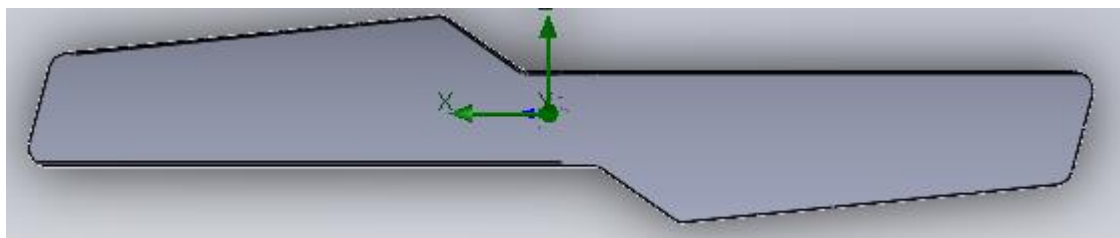


Рисунок 4.20 – Лопать 5 (убран перегиб, изменены законцовки)

На рисунке 4.21 показан отрыв и зависания лопастной группы, с грузами в виде пяти монет. Пять монет – 35 грамм, лопать с моторами и опорой – 25 грамм, общее 60 грамм. Взлёт резкий. Далее происходило постепенное нагружение с шагом в 7 грамм. 67 грамм масса – взлёт и зависание, не резкое. 74 грамм масса – взлёт и зависание, не резкое. 81 грамм – взлёт и зависание, но медленно. 88 грамм – взлёт и зависание, чуть хуже, чем предыдущий раз. 90 грамм взлёт и зависание. При 95 грамм – не взлёт, нет зависания.

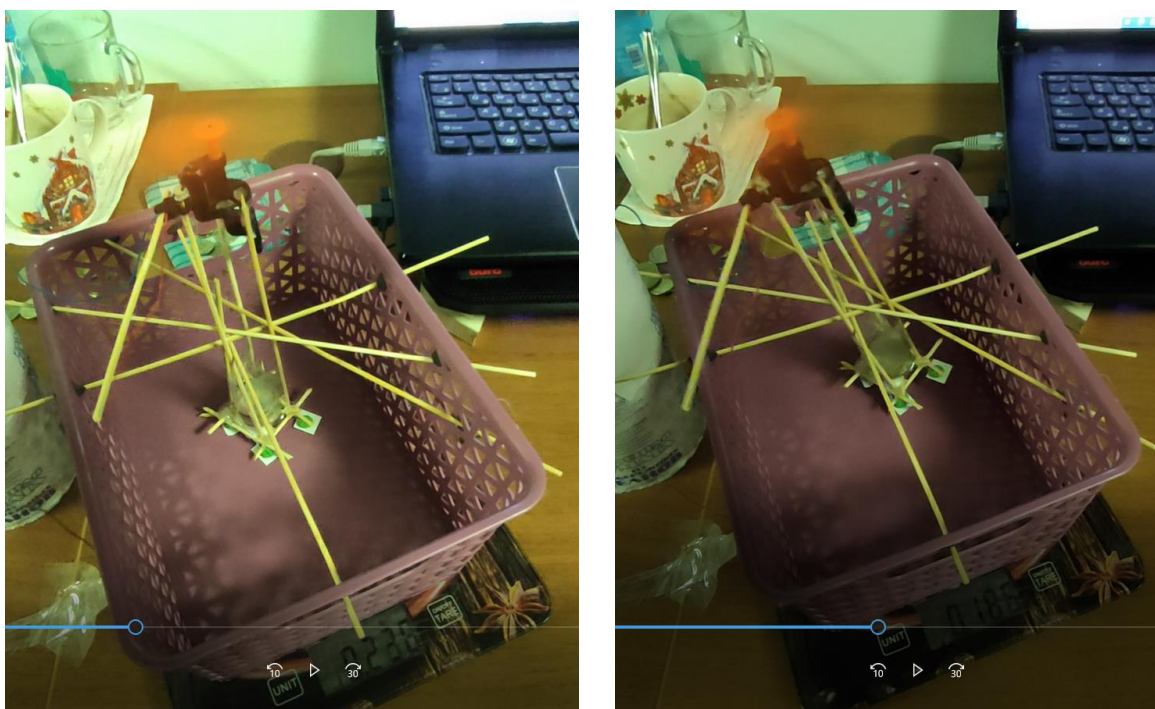


Рисунок 4.21 – Фрагмент видеозаписи зависания конструкция с грузом

Подъемная сила физической лопасти и подъемная сила рассчитанная при помощи модуля Flow Simulation одного порядка, и значения близки к 90 грамм или 0,88 Н, которые может поднять реальная лопасть. Численное моделирование 111 грамм или 1,09 Н. Небольшое расхождение в значениях может быть вызвана из-за сил трения между стойкой и стержнями ограничивающие степени свободы лопастьномоторной группы. Которые были добавлены для компенсации реактивного момента несущей лопасти. Что бы лопастьномоторная группа зависала. Если рассматривать со стороны численной модели – то уточнить сетку, внести изменения в настройки решателя.

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В данном разделе выполняется организация и планирование работ по исследованию зависимости геометрических параметров лопасти летательного аппарата на подъемную силу в типовых производственных условиях, расчет бюджета, затрат. А также проводится анализ со стороны достижения коммерческого успеха.

Финансовое технико-экономическое обоснование является одним из наиболее важных шагов на пути к успеху в разработке проекта, и очень часто им пренебрегают или проводят ненадлежащим образом. На основании финансового исследования администратор будет основывать оценку рисков проекта, потенциальную стоимость и пригодность для инвестиций или финансовой поддержки.

Целью данного раздела является финансовое и технико-экономическое обоснование научного исследования, разработки. Которые будут отвечать современным требованиям в области ресурсоэффективности.

Для того чтобы оценить конкурентоспособность научного исследования, необходимо провести анализ имеющихся разработок, SWOT-анализ. Ответить на вопросы: насколько быстро разработчик сумеет достичь результат? будет ли востребовано исследование?, каков бюджет научного проекта ?, какой срок потребуется для выхода на рынок?, какие риски?

Объект финансового исследования - виртуальная модель лопасти летательного аппарата и численное моделирование подъемной силы.

Раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала при внедрении результатов исследований или полученного опыта;
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;

- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

5.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В настоящее время беспилотные летательный аппараты (БПЛА) применяются в кадастровой сфере, геодезии, землеустроительных и градостроительных работах. В нефтегазовой сфере применяются для инспекции труднодоступных мест: от подготовительных геодезических работ до мониторинга буровых установок и магистральных трубопроводов, контроля за утечками, ремонтом оборудования. В сельском хозяйстве БПЛА используют для орошения полей, выявления патологий растений при помощи использование дистанционного метода обнаружения. Который исследует фотоизображения, полученные с помощью беспилотных летательных аппаратов. Так же используется для учёта и отслеживания роста культур (технология iFarm, Tevel Aerobotics, Octinion, и другие). Еще для мониторинга линий электропередач (для получения данные о растительности, влияние которой создает предпосылки для нарушения нормальной эксплуатации ЛЭП). В коммерческой сфере использование беспилотников в целях доставки грузов. Пример: Крупнейшие мировые фирмы и ритейлеры (такие как: Amazon, Alibaba, DHL, FedEx) уже совершили ряд попыток внедрить БПЛА в свои процессы доставки. А также применение в военной сфере.

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, **сегмент рынка** – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками. **Сегментирование** – это разделение покупателей на

однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

В данной работе целесообразно рассмотреть критерий сегментирования не только в виде итогового отчёта про проделанному исследованию, а еще возможных оказываемых услуг, основанных на использовании численного моделирования (виртуальных испытания). А также:

- Научно-исследовательские работы (цифровое моделирование и проектирование).
- Опытно конструкторские работы (выпуск опытного образца, испытания образца, корректировка проектных документов и остальное).
- Услуги по мониторингу и оптимизации.
- Подготовка и повышение квалификации инженерных кадров.

Основными потребителями предоставляемых услуг являются крупные предприятия машиностроения: АО «ОДК», АО «ВР», САЛЮТ, ООО «СКБ Искра», Фонда перспективных исследований «Циклон», Hoversurf.

В настоящий момент можно выделить основные компании-конкуренты, которые занимают лидирующие позиции на рынке исследований и численного моделирования в машиностроение. Это Саратовский инженерный центр(СИЦ), ДИНАМИКС, ГК ПЛМ Урал, Адванс Инжиниринг и другие предприятия. На рисунке 5.1.1 представлена карта сегментирования рынка услуг.

		Вид услуг			
		Научно-исследовательские работы	Опытно-конструкторские работы	Услуги по мониторингу и оптимизации	Подготовка и повышение квалификации инженерных кадров
Категория потребителей	Крупные компании				
	Средние компании				
	Малые компании				
	Саратовский инженерный центр			ГК ПЛМ Урал	
	ДИНАМИКС			Адванс Инжиниринг	

Рисунок 5.1.1 – Карта сегментирования рынка услуг

На рисунке 5.1.1 показано, какие ниши на рынке инжиниринговых услуг не заняты конкурентами или где уровень конкуренции низок. Выбирают, как правило, два-три сегмента, на которые и направляют максимальные усилия и ресурсы предприятия. Стоит отметить что в основном результаты исследований или инжиниринговые услуги востребованы у крупных компаний. А точнее они создают спрос и потребность.

5.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок и методов проектирования существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее

противостоять своим оппонентам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок оппонентов и методов их реализации.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Данный анализ производится с применением оценочной карты, приведенной в таблице 5.2.1.

Рассматриваются три основных направления:

Вариант 1 – Исследование и разработка с применением виртуального численного моделирования.

Вариант 2 – Исследование и разработка без применения виртуального численного моделирования.

Вариант 3 – Комбинирование. Применение элементов из варианта 1 и варианта 2.

Выделены следующие критерии:

1. Технические критерии:

- Повышение производительности труда – критерий, характеризующий меньшую затрату времени, тем самым можно сделать больше экспериментов в единицу времени.
- Функциональная мощность – критерий, характеризующий неограниченность применения различных подходов (это возможно реализовать, а это нет).
- Энергоэкономичность – критерий, характеризующий энергоэффективность разрабатываемого проекта.
- Достоверность (валидация) – критерий, характеризующий в какой мере адекватность виртуального моделирования может быть проверена данными физических наблюдений.

- Потребность в вычислительных ресурсах – критерий, характеризующий необходимое количество операций процессора и графического ускорителя, а также объем оперативной памяти.

- Простота эксплуатации – критерий, характеризующий требование к квалификации кадров.

2. Экономические критерии:

- Конкурентоспособность – критерий, характеризующий производительность труда (проведён большой объем работы, затрачено меньше времени, минимальные ресурсы – соответственно себестоимость меньше [наибольший эффекта при меньших трудозатратах]).

- Уровень проникновения – критерий, характеризующий применение современных подходов и методик, программных продуктов.

- Перспектива рынка – критерий, характеризующий востребованность исследования;

- Наличие сертификации разработки – критерий, удостоверяющий соответствие объекта требованиям технических регламентов, положениям стандартов, сводов правил или условиям договоров.

Экспертная оценка производится по техническим характеристикам и экономическим показателям по 5 бальной шкале, где 1 – наиболее низкая оценка, а 5 – наиболее сильная. Общий вес всех показателей в сумме должен составлять 1.

Расчет конкурентоспособности, на примере стабильности срабатывания, определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i = 0,1 \cdot 0,4 = 0,4;$$

где K – конкурентоспособность научной разработки(проекта) или конкурента; V_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Таблица 5.2.1 – Оценочная карта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда	0,1	4	1	3	0,4	0,1	0,3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	3	1	5	0,3	0,1	0,5
3. Энергоэкономичность	0,1	5	1	3	0,5	0,1	0,3
4. Достоверность (Валидация)	0,1	3	5	4	0,3	0,5	0,4
5. Потребность в вычислительных ресурсах	0,1	5	1	3	0,5	0,1	0,3
6. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,1	4	3	5	0,4	0,3	0,5
7. Простота эксплуатации	0,1	1	2	3	0,1	0,2	0,3
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта (результатов исследования)	0,1	3	2	5	0,3	0,2	0,5
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2
3. Перспектива рынка (инжиниринговых услуг)	0,1	4	2	4	0,4	0,2	0,4
4. Наличие сертификации разработки	0,05	3	3	3	0,15	0,15	0,15
Итого	1	39	24	42	3,55	1,6	3,85

Рассмотренные варианты имеют свои преимущества и недостатки и в каждом из вариантов есть свои подтипы методов. Разные варианты используются в разных условиях. На эффективность метода влияют: тип производства, сложность продукта изготовления, возможности применения программных продуктов, целесообразность применения. Основная уязвимость уже существующих методов заключается в их энергоэкономичности, потребности вычислительных ресурсах и оперативной памяти, программном обеспечении, простоте эксплуатации, а также в цене.

В результате полученной оценочной карты, метод предоставленный в Варианте 3 предпочтительнее других вариантов.

5.3 SWOT-анализ исследования

В качестве оценки сильных и слабых сторон проекта как во внутренней, так и во внешней среде прибегают к составлению SWOT-матрицы (таблица 5.3).

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы).

Задача SWOT-анализа — дать структурированное описание ситуации, относительно которой нужно принять какое-либо решение. Выводы, сделанные на его основе, носят описательный характер без рекомендаций и расстановки приоритетов.

Таблица 5.3 – SWOT-анализ проекта

Сильные стороны: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Уникальность разработки. С3. Экономия материально-технических ресурсов за счёт использования программного обеспечения. С4. Снижение времени разработки. С5. Цифровизация конструкторско-расчётных работ.	Слабые стороны: Сл1. Финансово-коммерческие ограничения используемого программного обеспечения. Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой. Сл3. Узкая направленность результатов исследования.
Возможности: В1. Быстрое продвижение на рынок. В2. Низкий уровень конкуренции. В3. Появление дополнительного спроса на исследования.	Угрозы: У1. Появление конкурента. У2. Отсутствие спроса на новые технологии и исследования. У3. Кризис.

В4. Рост заинтересованности производителей в научнотехнических разработках моделей различных процессов.	У4. Увеличение времени продвижения на рынок.
---	--

На втором этапе составляются матрицы возможного взаимодействия возможностей(В), сильных сторон(С), слабых сторон (Сл) и угроз(У). Результаты анализа приведены в таблицах № 5.3.1, 5.3.2, 5.3.3, 5.3.4. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие): «0» если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 5.3.1

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	+	-	+	+	+
	В2	0	+	0	+	+
	В3	+	+	+	0	0
	В4	+	+	+	0	+

Таблица 5.3.2

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	В1	-	-	-
	В2	0	+	+
	В3	-	0	+
	В4	-	0	0

Таблица 5.3.3

Сильные стороны проекта						
Угрозы		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	-	-	+	+	+
	У2	-	-	-	-	0
	У3	-	0	-	-	-
	У4	+	-	-	0	+

Таблица 5.3.4

Слабые стороны проекта				
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	0	0	-
	У2	-	-	-
	У3	-	-	-
	У4	-	-	-

На последнем этапе SWOT-анализа заполняется матрица, таблица 5.3.

	Сильные стороны:	Слабые стороны:
	<p>C1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>C2. Уникальность разработки.</p> <p>C3. Экономия материально-технических ресурсов за счёт использования программного обеспечения.</p> <p>C4. Снижение времени разработки.</p> <p>C5. Цифровизация конструкторско-расчётных работ.</p>	<p>Сл1. Финансово-коммерческие ограничения используемого программного обеспечения.</p> <p>Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.</p> <p>Сл3. Узкая направленность результатов исследования.</p>
<p>Возможности:</p> <p>V1. Быстрое продвижение на рынок.</p> <p>V2. Низкий уровень конкуренции.</p> <p>V3. Появление дополнительного спроса на исследования.</p> <p>V4. Рост заинтересованности производителей в научнотехнических разработках моделей различных процессов.</p>	<p>V1C1- Ускоренное продвижение на рынок, соответственно быстрый выход на прибыль.</p> <p>V1C3C4C5-Наибольший эффект при меньших (тех же) трудозатратах.</p> <p>V2C2C4C5- монополия;</p> <p>V3C1C2C3- парадигма;</p> <p>V4C1C2C4C5 – новые горизонты, расширение границ.</p>	<p>V2Сл2Сл3 – Малое количество предприятий, способных воспользоваться результатами исследования.</p> <p>Стратегия: изучать рынок шире и искать направления где можно применить результаты.</p> <p>Стратегия: самостоятельно создавать индустрия с поддержкой государства или небольшими шажочками самостоятельно (сделал – заработал на этом, потом</p>

	<p>1. Стратегия: не откладывать время получения прибыли.</p> <p>2. Стратегия: держать темпы.</p> <p>3. Стратегия: уделять внимание внутренним расходам, а не следить за тем сколько затратил конкурент.</p>	<p>чутка улучшил это же самое, - снова заработал и так далее, до перехода на новую фундаменталику).</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Появление конкурента.</p> <p>У2. Отсутствие спроса на новые технологии и исследования.</p> <p>У3. Кризис.</p> <p>У4. Увеличение времени продвижения на рынок.</p>	<p>У1С3С4С5 – меньше заказов, ценообразование, стоимость услуг;</p> <p>У4С1С4С5 – нивелирование сильными сторонами затянутое время выхода на рынок.</p> <p>1. Стратегия: за счёт оптимизации расходов, и повышение производительности используя (С3С4С5) извлекать больше прибыли из уже имеющихся объема заказов.</p> <p>2. Стратегия: за счёт использования новых подходов (С5) затратить меньше времени, для достижения итогов.</p>	<p>При увеличении специалистов может появиться конкуренция.</p> <p>Стратегия: мероприятия направленные на снижение утечки кадров (премии, нематериальное стимулирование).</p>

На пересечении параметров представлен анализ интерактивных таблиц в форме записи сильно коррелирующих факторов. Каждая из записей представляет собой направление реализации проекта.

5.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	5
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	5
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	4
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	3
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	4	4
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	3
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	3
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	4

11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	2
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	3
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	3
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	3
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
	ИТОГО БАЛЛОВ	47	55

При проведении анализа по таблице, приведенной выше, по каждому показателю составляем оценку по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. При оценке степени проработанности научного проекта:

- 1 балл означает не проработанность проекта,
- 2 балла – слабую проработанность,
- 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен,
- 4 балла – выполнено качественно,
- 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта.

Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид:

- 1 – означает не знаком или мало знаю,
- 2 – в объеме теоретических знаний,
- 3 – знаю теорию и практические примеры применения,
- 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю,
- 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i;$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Перспективность данной разработки можно считать выше среднего так как $B_{\text{сум}}$ получилось от 59 до 45. То есть перспектива выше среднего.

5.5 Методы коммерциализации результатов научно- технического исследования

Для коммерциализации результатов, проведенного исследования будут использоваться следующие методы: инжиниринг и передача интеллектуальной собственности. Инжиниринг будет предполагать предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно- технических услуг, связанных с проектированием, строительством и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика.

Передача интеллектуальной собственности будет производиться в уставной капитал предприятия или государства. Данные методы коммерциализации будут наиболее продуктивными в отношении данного проекта.

5.6 Планирование научно-исследовательских работ

5.6.1 Структура работ в рамках научного исследования

Комплекс предполагаемых работ включает в себя следующие задачи:

- определить структуру работ в рамках проектирования;
- определить участников каждой работы;
- установить продолжительность работ;

- построить график проведения отдельных этапов проектирования.

Для выполнения данного проекта необходимо сформировать рабочую группу, в состав которой входят руководитель и инженер. Для каждой из запланированных работ, необходимо выбрать исполнителя этой работы.



Разработанный список задач и производимых работ, в рамках проектирования, а также распределение исполнителей по этим работам, представлен в виде таблицы 5.6.1.

Таблица 5.6.1 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Выбор направления исследований	1	Выбор направления исследований	Руководитель
Составление и утверждение технического задания	2	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, Инженер
	3	Календарное планирование работ по исследованию	Руководитель, Инженер
Выбор направления исследования	4	Ознакомление с литературой, статьями, журналами, патентами	Инженер
	5	Консультирование по возникшим вопросам	Инженер, Руководитель
	6	Написание обзорной статьи по данной теме	Инженер
Исследование в программной среде Solid works	7	Создание исследуемой модели	Инженер
	8	Исследования зависимости геометрии лопасти на силу тяги	Инженер
	9	Корректировки, повторные исследования	Инженер
	10	Анализ результатов	Инженер
Подготовительный этап верификации	11	Сборка стенда для испытаний	Инженер
	12	Испытания	Инженер
	13	Оценка полученных результатов	Руководитель, инженер
Разработка технической документации	14	Составление отчёта о проделанной работе с полным анализом результатов	Инженер
	15	Оформление расчетно-пояснительной записки	Инженер
	16	Оформление графического материала	Инженер
	17	Подведение итогов	Инженер, Руководитель

Таблица 5.6.2 - Календарный план-график проведения исследования

№ раб	Т _к , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
		Февр.	Март				Апр.				Май				Июнь
		4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1
1	5	■													
2	2		■												
3	1		■												
4	15			■	■	■									
5	5					■	■								
6	5						■	■							
7	15							■	■	■	■				
8								■	■	■	■				
9								■	■	■	■				
10								■	■	■	■				
11	17										■	■	■		
12											■	■	■		
13												■	■		
14	2													■	
15	2													■	
16	2													■	
17	5													■	■
Общее количество дней 76															

 Руководитель
 Инженер

5.7 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты сгруппированы по статьям. В данном исследовании выделены следующие статьи:

1. Специальное программное обеспечение для численного моделирования и исследования;
2. Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты;
3. Заработная плата;
4. Отчисления на социальные нужды;
5. Накладные расходы;

1. Специальное программное обеспечение для моделирования и исследования кинематики. В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ, таблица 5.7.1.

Таблица 5.7.1 – Расчёт затрат по статье «Программное обеспечение для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единиц оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Ноутбук	1	120 000	120 000
2	Программное обеспечение Microsoft Office	1	10 000	10 000
3	Программный продукт SolidWorks 2021	1	152 000	152 000
4	Программный продукт ANSYS	1	187 500	187 500
Итого, рублей:				469 500 рублей

2. Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов). В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов

материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ, таблица 5.7.2.

Таблица 5.7.2 – Расчет затрат по статье «Сырье и материалы»

Наименование	Количество, шт	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Лопасты с двигателями	4	2 500	10 000
Блок питания	1	2 050	2 050
Инструмент	-	1 750	1 750
Расходный материал	-	500	500
Паяльник, необходимое к пайке	1	1 200	1 200
Канцелярия	-	650	650
Энергия		3,85	450
Всего за материалы			16 600
Транспортно-заготовительные расходы (3-5 %)			830
Итого по статье			17 430 рублей

3. Расчёт основной заработной платы. В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоёмкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. Расчет основной заработной платы сводится в таблицу 5.7.3.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата

Основная заработная плата $Z_{осн}$ руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}$$

Где $Z_{осн}$ - основная заработная плата одного работника;

$T_{раб}$ - продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб, дн.;

$Z_{дн}$ - среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}$$

Где: $Z_{\text{м}}$ - месячный должностной оклад работника, руб.;

M - количество месяцев работы без отпуска в течение года;

при отпуске в 24 раб. дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ - действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Расчёт заработной платы научно – производственного и прочего персонала проекта проводили с учётом работы 2-х человек – научного руководителя и инженера. Баланс рабочего времени исполнителей представлен в таблице 5.7.3.

Таблица 5.7.3 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант
Календарное число дней	131	131
Количество нерабочих дней	41	41
-выходные дни	36	36
-праздничные дни	5	5
Потери рабочего времени	24	24
-отпуск	14	14
-невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	76	76

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot (K_{\text{пр}} + K_{\text{д}}) \cdot K_{\text{р}}, \text{ где}$$

$Z_{\text{б}}$ - базовый оклад, руб.;

$K_{\text{пр}}$ - премиальный коэффициент (определяется положением об оплате труда);

$K_{\text{д}}$ - коэффициент доплат и надбавок;

$K_{\text{р}}$ -районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

При расчёте заработной платы научно-производственного и прочего персонала проекта учитывались месячные должностные оклады работников, которые рассчитывались по формуле:

$$Z_m = Z_b \cdot K_p, \text{ где}$$

Z_b - базовый оклад, руб.;

K_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Согласно информации сайта Томского политехнического университета, должностной оклад (ППС) профессора= кандидата технических наук в 2021 году без учёта РК составил 70000 руб., поскольку руководитель работает на 0,5 ставки, то оклад равен 35000. Расчёт основной заработной платы приведен в таблице 6.7.4.

Таблица 6.7.3 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Z_b , руб	$K_{пр}$	K_d	K_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	$T_{раб}$	$Z_{осн}$, руб
Руководитель	35 000	1	1,5	1,3	68 250	1 650,94	76	125 471,44
Инженер	25 000	-	-	1,3	32 500	2 138,15	76	162 499,4

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала. В данную сеть включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot K_{доп}, \text{ где}$$

$Z_{доп}$ - дополнительная заработная плата, руб.;

$K_{доп}$ - коэффициент дополнительной заработной платы;

$Z_{осн}$ - основная заработная плата, руб.

В таблице 5.7.5 представлена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 5.7.5 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	125 471,44	162 499,4
Дополнительная зарплата	12 547,14	16 249,94
Итого по статье С _{зп}	138 018,58	178 749,34

Отчисления на социальные нужды. Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \text{ где}$$

$K_{\text{внеб}}$ - коэффициент отчисления на уплату во внебюджетные фонды.

На 2022 г. В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30 %. На основании пункт 1 ст. 58 закона № 212 – ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2022 году водится пониженная ставка – 27,1 %.

Отчисления на социальные нужды составляют: $C_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot (125471,44 + 12547,14) = 37403,03$ рублей

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (178749,34) = 53624,8 \text{ рублей}$$

Общее: 91027,83 рублей

Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями.

На эту статью расходов в данном проекте относится использование Internet. Величина этих расходов определялась по договорным условиям и составляет 1750 руб.

Таблица 5.7.6 – Расчёт затрат на Internet.

Цена за месяц	Количество месяцев	Итого
350	5	1750 рублей

Накладные расходы. Расчёт накладных расходов проведен по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = K_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,8 \cdot (287970,84 + 28797,08) = 253414,3 \text{ руб.}$$

Где $K_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов принят 0,8.

Таким образом, затраты проекта составляют 1 149 890 рублей, которые приведены в таблице 5.7.7.

Таблице 5.7.7 – затраты.

ПО, оборудование	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Доп. Заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями	Накладные расходы	Итого, плановая себестоимость
469 500	17 430	287 970,84	28 797,08	91 027,83	1 750	253 414,3	1 149 890

5.8 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта, таблица 5.8.

Таблица 5.8 – План управления коммуникациями.

№ п/п	Какая информация передаётся	Кто передаёт информацию	Кому передаётся информация	Когда передают информацию
1	Статус проекта	Исполнитель	Руководителю	Еженедельно (понедельник)
2	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель	Руководителю	Ежемесячно (конец месяца)
3	Документы и информация по проекту	Исполнитель	Руководителю	Не позже сроков графиков и к. точек
4	О выполнении контрольной точки	Исполнитель	Руководителю	Не позже дня контрольного события по плану управления

5.9 Определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности исследования

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

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

В качестве максимальной стоимости исполнения научно-исследовательского проекта принимается минимальный размер гранта на лучшие проекты фундаментальных научных исследований, выполняемые молодыми учеными - кандидатами наук в научных организациях РФ, так как аналогичные научные исследования ранее не проводились.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по следующей формуле:

$$I_{\text{финр.}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{1\,149\,890}{1\,200\,000} = 0,95$$

Где: $I_{\text{финр.}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее

численное удешевление стоимости разработки и в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

$$I_{\text{финр.}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{мах}}} = \frac{1\,149\,890}{1\,200\,000} = 0,95$$

$$I_{\text{финр.}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{мах}}} = \frac{1\,200\,000}{1\,200\,000} = 1$$

$$I_{\text{финр.}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{мах}}} = \frac{1\,189\,890}{1\,200\,000} = 0,99$$

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

Где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i – го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i - го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путём по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы, таблица 5.9.

Таблица 5.9 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта.

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметры	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Выход продукта	0,2	5	4	3
2. Удобство в эксплуатации	0,2	4	5	3
3. Надёжность	0,2	4	4	3
4. Простота эксплуатации	0,2	5	4	4

5. Возможность автоматизации данных	0,2	5	4	3
6. Итого	1	4,6	4,2	3,2

$$I_m^p = 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 = 4,6$$

$$I_1^A = 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 = 4,2$$

$$I_2^A = 3 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,2 = 3,2$$

Интегральный показатель эффективности разработки $I_{финр}^p$ и аналога $I_{финр}^a$ определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p}, I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_{\phi}^a}$$

$$I_{финр\ m}^p = \frac{4,6}{0,95} = 4,84$$

$$I_{финр\ 1}^p = \frac{4,2}{1} = 4,2$$

$$I_{финр\ 2}^p = \frac{3,2}{0,99} = 3,23$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a}$$

где $\mathcal{E}_{ср}$ – сравнительная эффективность проекта;

$I_{финр}^p$ – интегральный показатель разработки

$I_{финр}^a$ – интегральный технико – экономический показатель аналога.

$$\mathcal{E}_{ср\ m} = \frac{4,84}{4,84} = 1$$

$$\mathcal{E}_{ср\ 1} = \frac{4,2}{4,84} = 0,93$$

$$\mathcal{E}_{\text{cp } 2} = \frac{3,23}{4,84} = 0,66$$

Сравнительная эффективность разработки по сравнению с аналогами представлена в таблице 5.10.

Таблица 5.10 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,95	1	0,99
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	4,2	4,3
3	Интегральный показатель эффективности	4,84	4,2	3,23
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,93	0,66

5.10 Оценка абсолютной эффективности исследования

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков. Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности используются следующие основные показатели:

- Чистая текущая стоимость (NPV);
- Индекс доходности (PI);
- Внутренняя ставка доходности (IRR);
- Срок окупаемости (DPP);

Чистая текущая стоимость (NPV) – это показатель экономической эффективности инвестиционного проекта, который рассчитывается путём

дисконтирования (приведения к текущей стоимости, т.е. на момент инвестирования) ожидаемых денежных потоков (как доходов, так и расходов).

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{on_t}}{(1+i)^t} - I_0$$

Где: ЧДП_{on_t} – чистые денежные поступления от операционной деятельности.

I₀- разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчёта (t=0,1,2...n)

n – горизонт расчёта;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств)/

Расчёт NPV позволяет судить о целесообразности инвестирования денежных средств. Если NPV > 0, то проект оказывается эффективным.

Расчёт чистой текущей стоимости представлен в таблице 5.10. При расчёте рентабельность проекта составляла 20-25 %. Норма амортизации – 10 %. Ar = C_{перв} · На/100, себ= р. **Выручка=себестоимость·1,2.**

Таблица 5.10 – Расчёт чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчёта				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	1 379 868	1 379 868	1 379 868	1 379 868
2	Итого приток, руб	0	1 379 868	1 379 868	1 379 868	1 379 868
3	Инвестиционные издержки, руб.	- 1 149 890	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб. (35% от бюджета)	0	402 461,5	402 461,5	402 461,5	402 461,5
5	Налогооблагаемая прибыль(1-4)	0	977 407	977 407	977 407	977 407
6	Налоги 20 % руб. (5*20%)	0	195 481,4	195 481,4	195 481,4	195 481,4
8	Чистая прибыль, руб. (5-6)	0	781 925,6	781 925,6	781 925,6	781 925,6

9	Чистый денежный поток (ЧДП), руб. (чистая прибыль+амортизация)	- 1 149 890	896 914,6	896 914,6	896 914,6	896 914,6
10	Коэффициент дисконтирования при I=20% (КД)	<u>1</u>	0,833	0,694	0,578	0,482
11	Чистый дисконтированный денежный поток (ЧДД), руб(9*10)	- 1 149 890	747 129,86	622 458,73	518 416,64	432 312,84
12	\sum ЧДД	2 320 318,07 руб				
13	Итого NPV, руб	1 170 428,07 руб.				

$$NPV = 2\,320\,318,07 - 1\,149\,890 = 1\,170\,428,07 > 0$$

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 1 170 428,07 рублей, что позволяет судить об его эффективности.

Индекс доходности (PI) – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДД_t}{(1+i)^t} / I_0 > 0$$

Где: ЧДД – чистый денежный поток, руб.;

I_0 – начальный инвестиционный капитал, руб.

Таким образом PI для данного проекта составляет:

$$PI = \frac{2\,320\,318,07}{1\,149\,890} = 2.018$$

Так как $PI > 1$, то проект является эффективным.

Внутренняя ставка доходности (IRR). Значение ставки, при которой обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или IRR. Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или = 0. По разности между IRR и ставкой дисконтирования i можно судить о запасе

экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе IRR к ставке дисконтирования i , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 5.10.1 и на рисунке 5.11

Таблица 5.11.1 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV, руб
1	Чистые денежные потоки, руб.	1 149 890	896 914,6	896 914,6	896 914,6	896 914,6	
2	Коэффициент дисконтирования						
	0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350	
	0,4	1	0,714	0,510	0,364	0,260	
	0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	0,6	1	0,625	0,390	0,244	0,153	
	0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,112	
	0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	1	1	0,500	0,250	0,125	0,062	
3	Дисконтированный денежный поток, руб						
	0,1	-1 149 890	815295,37	740851,46	673582,86	612592,67	1 692 432,37
	0,2	-1 149 890	1528701,61	1273612,14	1060731,728	884554,832	1 170 428,07
	0,3	-1 149 890	689727,33	530973,44	408096,14	313920,11	792 827,02
	0,4	-1 149 890	640397,02	457426,45	326476,91	233197,80	507 608,18
	0,5	-1 149 890	598242,04	398230,08	264589,81	177589,09	288 761,02
	0,6	-1 149 890	560571,63	349796,69	218847,16	137227,93	116 553,42
	0,7	-1 149 890	527385,78	300466,39	182073,66	100454,44	-39 509,73
	0,8	-1 149 890	498684,52	277146,61	153372,40	85206,89	-135 479,59
	0,9	-1 149 890	471777,08	248445,34	130949,53	69062,42	-229 655,62
	1	-1 149 890	448457,30	224228,65	112114,33	55608,71	-309 481,02

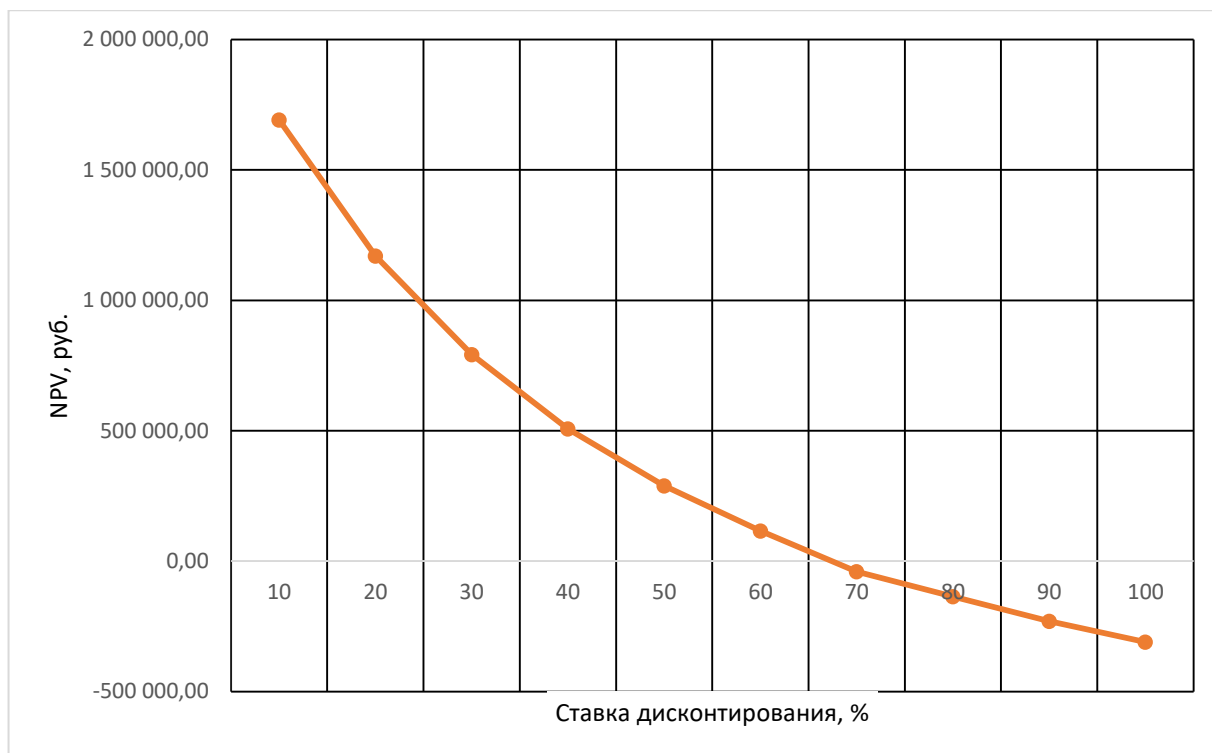


Рисунок 5.11 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,62.

$IRR > i$ проект эффективен

Запас экономической прочности проекта: $62\% - 20\% = 42\%$

Дисконтированный срок окупаемости. Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя является простота срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчёта разной ценности денег во времени.

Этот недостаток устраняется путём определения дисконтированного срока окупаемости. То есть это время, за которое денежные средства должны совершить оборот.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока, таблица 5.11.2.

Таблица 5.11.2 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчёта				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый денежный поток (i=0,20), руб.	-1 149 890	747 129,86	622 458,73	518 416,64	432 312,84
2	То же нарастающим итогом, руб.	-1 149 890	-402 760,14	219 698,59	738 115,23	1 170 428,07
3	Дисконтированный срок окупаемости	$DPP_{\text{диск}} = 1 + \left(\frac{-402\,760,14}{622\,458,73} \right) = 0,64$ года (7,7 месяцев)				

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально – экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населений или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экономические и иные внеэкономические эффекты, таблица 5.11.3.

Таблица 5.11.3 – Критерии социальной ответственности

ДО	ПОСЛЕ
Отсутствие знаний о численном моделирование подъемной силы лопасти	Получен опыт и изучены методики численного моделирования подъемной силы лопасти
Отсутствует понимание, данных о сложностях проведения виртуальных испытаний и их верифицируемость	Обобщены и структурированы данные, есть представление об виртуальных испытаниях тяги

Заключение раздела

В результате анализа раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», можно сделать следующие выводы:

1. По результатам проведенного анализа конкурентных технических решений можно отметить, что для определенной отрасли производства исследуемый в данной работе метод является наиболее предпочтительным и рациональным по сравнению с остальными.

2. По результатам SWOT-анализа научно-исследовательского проекта можно предположить, что с ростом инновационной промышленности и возможностей перехода на новые технологии исследуемый предмет работы и методы применяемы в работе окажутся нужными в авиастроении, машиностроении, космической промышленности и т.д.

3. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 76 дней, общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер – 71 и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель – 26.

4. Подсчитан бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 1 149 890 рублей.

5. В ходе выполнения раздела финансового менеджмента определена чистая текущая стоимость, (NPV), равен 1 170 428,07 рублей, индекс доходности $PI = 2,018$, внутренняя ставка доходности $IRR = 0,62 \%$, срок окупаемости $PP_{дск} = 0,64$ года.

Таким образом мы имеем ресурсоэффективный проект с высоким запасом финансовой прочности и коротким сроком окупаемости.

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Данный раздел предназначен для рассмотрения организационно-правовых вопросов, вопросов обеспечения безопасности охраны труда и окружающей среды. На всех этапах разработки и исследования зависимости геометрических параметров лопасти летательного аппарата на подъемную силу. Результаты работы могут быть применимы там, где используются дроны. В кадастровой сфере, геодезии, землеустроительных и градостроительных работах. В нефтегазовой сфере (для инспекции труднодоступных мест, мониторинга). В сельском хозяйстве уже используют для орошения полей, внесения удобрений, выявления патологий растений, учёта и отслеживания роста культур (технология iFarm, Tevel Aerobotics, Ostinion, и другие). Для мониторинга линий электропередач (получения данные о растительности, влияние которой создает предпосылки для нарушения нормальной эксплуатации ЛЭП). В коммерческой сфере использование в целях доставки грузов (примеры: Amazon, Alibaba, DHL, FedEx).

Разработка и исследование проводятся в кабинете за рабочим местом оснащённым персональным компьютером. Сборка стенда происходит в лаборатории. Помещения отапливаемые и вентилируемые. Рабочее место оборудовано искусственным освещением. На рабочем месте имеется стол и стул с регулируемым уровнем высоты и угла наклона спинки. Работа в офисе преимущественно в положении сидя, в лаборатории стоя. Повышенные физические нагрузки отсутствуют.

Далее в разделах будут рассмотрены правовые нормы трудового законодательства, производственная безопасность. Где на рабочем месте должны быть учтены требования к освещенности, температуре, шуму, наличию вредных или опасных факторов. Влияние проектной деятельности на состояние окружающей среды (экологическая безопасность) и безопасность в чрезвычайных ситуациях.

Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.1 Правовые нормы трудового законодательства

Для обеспечения требований безопасности при проведении исследований органами государственного и ведомственного надзора были разработаны и утверждены правила безопасности при проведении отдельных видов работ или эксплуатации промышленного оборудования.

– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.03.2022) [1].

– ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования [3].

– ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ Оборудование производственное. Общие эргономические требования [4].

– ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения [5].

– ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования [6].

Рабочие часы рассматриваются как время, когда сотрудник выполняет свою работу в соответствии с правилами и/или должностной инструкцией. Внутренний распорядок труда должны быть приняты в соответствии с внутренним трудовым распорядком и условиями. Нормальные рабочие дни не могут быть превышающими 40 часов на неделю [1].

Знание и строгое соблюдение правил техники безопасности являются обязательными для всего персонала. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии, состоит из вводного инструктажа, и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом (ГОСТ 12.0.004-2015 ССБТ. Организация обучения безопасности труда. Общие положения).

6.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны

Одним из факторов комфортности рабочей среды является организация рабочего места. Рабочее место должно соответствовать определённым нормам, ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ[3], ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ[6], ГОСТ Р 50923-96[5]. Рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество.

- Рабочий стул (кресло) должен иметь дизайн, исключаящий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте. Должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

- Рабочее место должно соответствовать техническим требованиям и санитарным нормам. Высота над уровнем пола рабочей поверхности, за которой работает оператор, должна составлять 720 мм. Оптимальные размеры поверхности стола 1600 x 1000 кв. мм. Удаленность клавиатуры от края стола должна быть не более 300 мм, что обеспечит удобную опору для предплечий. Расстояние между глазами оператора и экраном видеодисплея должно составлять 40 - 80 см.

- Должна предусматриваться возможность регулирования экрана: – по высоте ± 3 см; – по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали; – в левом и правом направлениях [5].

6.3 Производственная безопасность

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут быть или возникать в ходе работы. Для идентификации потенциальных факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень факторов сведены в таблицу 6.3.1 [2]

Таблица 6.3.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Опасные факторы:	
Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов.	– ГОСТ 12.4.125-83. «Средства коллективной защиты работающих от воздействия механических факторов» [24]
Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий.	– ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. [9]
Факторы, связанные с высокой температурой материальных объектов, могущих вызвать ожоги тканей организма человека.	– ТИ Р М-075-2003 Межотраслевая типовая инструкция по охране труда для работников, занятых пайкой и лужением изделий паяльником. [25], [27], [30]
Факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания (включая пары).	– ТИ Р М-075-2003 Межотраслевая типовая инструкция по охране труда для работников, занятых пайкой и лужением изделий паяльником. [25], [29], [31]
Вредные факторы:	
Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения.	– СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. [8]
Повышенный уровень шума.	– СНИП 51.13330.2011. Защита от шума. [7]
Отклонение показателей микроклимата.	– СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению

	безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [10]
Электромагнитное поле промышленных частот.	– ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [9]
Психофизические факторы: умственное напряжение и перенапряжение, эмоциональные перегрузки, утомление.	– МР 2.2.9.2311-07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности» [11]

Для каждого фактора должны быть внедрены мероприятия по защите исследователя от их влияния.

6.3.1 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения

Среди технических требований к рабочему месту инженера особенно важным является требование к освещенности, которая значительно влияет на эффективность трудового процесса. Поэтому необходимо обеспечить оптимальное сочетание общего и местного освещения, СП 52.13330.2016 [8]. В таблице 6.3.1 приведены значения. Освещённость на рабочей поверхности от системы общего освещения, 300 лк.

Нормы естественного освещения установлены с учетом обязательной регулярной очистки стекол световых проемов не реже двух раз в год. Учитывая, что солнечный свет оказывает благоприятное воздействие на организм человека, необходимо максимально продолжительно использовать естественное освещение.

Освещение, правильно спроектированное и выполненное, предназначено для решения следующих вопросов: оно улучшает условия зрительной работы, снижает утомление, способствует повышению производительности труда и качества выполняемой работы на рабочем месте.

Причиной недостатка освещения могут являться неправильно спроектированные оконные проемы, неправильно рассчитанные показатели освещения или использование ламп низкого качества. Плохое освещение негативно воздействует на зрение, приводит к быстрому утомлению, снижает работоспособность, вызывает дискомфорт, является причиной головной боли и бессонницы. Нормы естественного и искусственного освещения установлены СП 52.13330.2016 [8].

Расчёт освещения

В помещении присутствует естественное и искусственное освещение. Степень точности зрительных работ IV - наименьший размер объекта различения составляет 0.5 - 1 мм. Согласно СП 52.13330.2016 работа за персональным компьютером относится к зрительным работам высокой точности для любого типа помещений. Нормирование освещённости для работы за персональным компьютером приведено в таблице 6.3.1 и таблице 6.3.1.1

Таблица 6.3.1 – Нормирование освещенности для работы с персональным компьютером по СП 52.13330.2016.

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Относительная продолжительность зрительной работы при направлении зрения на рабочую поверхность, %	Искусственное освещение				Естественное освещение	
					Освещённость на рабочей поверхности от системы общего освещения, лк	Цилиндрическая освещённость, лк	Объединённый показатель UGR, не более	Коэффициент пульсации освещённости КП, %, не более	КЕО еН, %, при	
									верхнем или комбинированном	боковом
Высокой точности	От 0,3 до 0,5	Б	1	Не менее 70	300	100*	21 18**	15	3,0	1,0
			2	Менее 70	200	75*	24	20	2,5	0,7

Таблица 6.3.1.1 – Требования к освещению на рабочих местах с персональным компьютером по СП 52.13330.2016

Освещенность на рабочем столе	300-500 лк
Освещенность на экране ПК	не выше 300 лк
Блики на экране	не выше 40 кд/м ²
Прямая блёсткость источника света	200 кд/м ²
Показатель ослеплённости	не более 20
Показатель дискомфорта	не более 15
Отношение яркости:	
– между рабочими поверхностями	3:1–5:1
– между поверхностями стен и оборудования	10:1
Коэффициент пульсации	не более 5%

Освещение рабочего места, складывается из естественного и искусственного освещения. Для обеспечения естественного освещения в помещении устанавливаются окна, оборудованные регулируемые устройствами (жалюзи, внешние козырьки и др.). Для обеспечения искусственного света используются люминесцентные лампы типа ЛБ. В светильниках местного освещения применяются светодиодные лампы.

Размещение светильников в помещении определяется следующими размерами [12]:

$H = 3$ м – высота помещения;

$h_c = 0,28$ м – расстояние светильников от перекрытия (свес);

$h_n = H - h_c = 2,72$ м – высота светильника над полом, высота подвеса;

$h_p = 0,72$ м – высота рабочей поверхности над полом;

$h = h_n - h_p = 2$ м – высота светильника над рабочей поверхностью.

Расстояние между светильниками L определяется по формуле (1):

$$L = \lambda \cdot h, \quad (1)$$

где λ – константа, равная 1,4 для люминесцентных светильников без защитной решётки типов ОД, ОДО. Тогда:

$$L = 1,4 \cdot 2 = 2,8 \text{ м.}$$

Оптимальное расстояние I от крайнего ряда светильников до стены рекомендуется принимать равным $L/3$, тогда:

$$I = \frac{L}{3} = \frac{2,8}{3} = 0,93 \text{ м.}$$

Площадь помещения S :

$$S = A \cdot B = 3 \cdot 7 = 21 \text{ м}^2$$

Светильник люминисцентный ARCTIC 136 (PC/SMC) HF ES1 светильник Световые Технологии 1069000100, мощностью 36 Вт, длина светильника равна 1280 мм, ширина – 96 мм, 1 источник света. Люминесцентная лампа T8 Osram L 36 W/830 PLUS ECO RUS G13, 1200 мм, световой поток которой равен 3350 лм.

Определяем число рядов светильников $n_{\text{ряд}}$ в помещении и количество светильников в ряду $n_{\text{св}}$:

$$n_{\text{ряд}} = \frac{(B - \frac{2}{3}L)}{L} + 1 = \frac{(7 - \frac{2}{3} \cdot 2,8)}{2,8} + 1 \approx 3$$

$$n_{\text{св}} = \frac{(A - \frac{2}{3}L)}{l_{\text{св}} + 0,5} = \frac{(3 - \frac{2}{3} \cdot 2,8)}{1,28 + 0,5} \approx 1$$

Размещаем светильники в два ряда. На рисунке изображен схема размещения светильников с люминесцентными лампами.

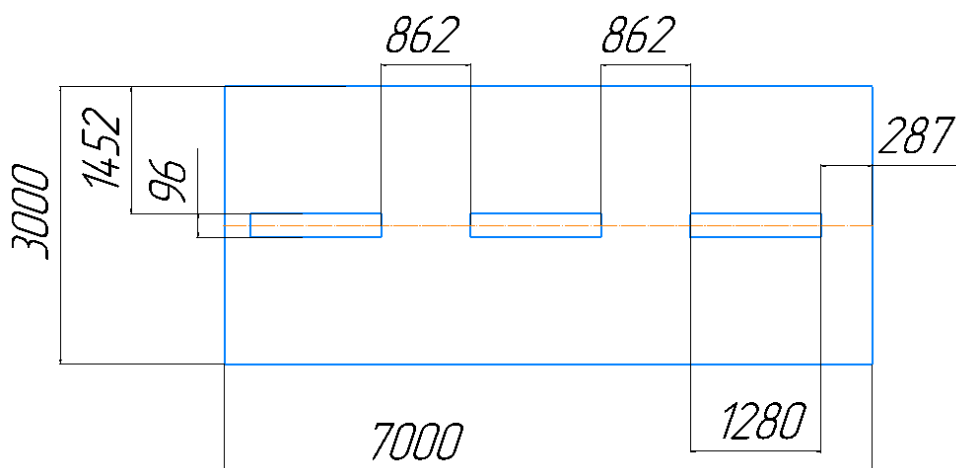


Рисунок 1 - Схема размещения светильников с люминесцентными лампами

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{(A \cdot B)}{h \cdot (A + B)} = \frac{(7 \cdot 3)}{2 \cdot (7 + 3)} = 1,05$$

Значения коэффициента использования светового потока светильников с люминесцентными лампами примем равным 49 %. По нормам по СП 52.13330.2016 необходима освещенность $E = 300$ лк. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_3 = 1,5$.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta}$$

где E_n – нормируемая минимальная освещённость, лк; S – площадь освещаемого помещения, m^2 ; K_3 – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т. е. отражающих поверхностей), наличие в атмосфере цеха дыма, пыли; Z – коэффициент неравномерности освещения, отношение $E_{ср}/E_{min}$. Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1; N – число ламп в помещении; η – коэффициент использования светового потока.

$$\Phi = \frac{300 \cdot 3 \cdot 7 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{3 \cdot 0,49} = 3\,535,71 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{л.станд} - \Phi_{л.расч}}{\Phi_{л.станд}} 100\% \leq +20\% .$$

$$\Phi = \frac{3350 - 3535,71}{3350} = -5,5\%$$

Таким образом: $-10\% \leq -5,5\% \leq 20\%$, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона. Световой поток для рассчитываемого помещения достаточный и соответствует требованиям.

6.3.2 Электромагнитные поля промышленных частот

Источником электромагнитного поля и электромагнитных излучений на рабочем месте является компьютер, в частности экран монитора компьютера. Электромагнитное поле, создаваемое ПК, имеет сложный спектральный состав в диапазоне частот от 0 Гц до 1000 МГц, и в том числе мощность экспозиционной дозы мягкого рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана при любых положениях ПК не должна превышать 100 мкР/час [14]. При воздействии на человека электромагнитного поля возникают нарушения электрофизиологических процессов в центральной нервной и сердечно-сосудистой системах. Функций щитовидной железы, генеративной функции организма.

Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений от монитора компьютера представлены в таблице 6.3.2.

Таблица 6.3.2 – Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений ПО ГОСТ 12.1.045–84

Наименование параметра	Допустимые значения
Напряженность электрической составляющей электромагнитного поля на расстоянии 50 см от поверхности видеомонитора	10 В/м
Напряженность магнитной составляющей электромагнитного поля на расстоянии 50 см от поверхности видеомонитора	0,3 А/м
Напряженность электростатического поля не должна превышать: – для взрослых пользователей – для детей дошкольных учреждений и учащихся средних специальных и высших учебных заведений	20 кВ/м 15 кВ/м

Предельно-допустимые нормы ЭМП представлены в таблице 6.3.3.

Таблица 6.3.3 – Предельно допустимые нормы ЭМП ПО ГОСТ 12.1.045–84 [14]

Напряжённость электрического поля	
в диапазоне частот 5 Гц–2 кГц	25 В/м
в диапазоне частот 2 кГц–400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	
в диапазоне частот 5 Гц–2 кГц	250 нТл
в диапазоне частот 2 кГц–400 кГц	25 нТл

6.3.3 Психофизические факторы: умственное напряжение и перенапряжение, эмоциональные перегрузки, утомление

При пятидневной рабочей неделе и 8-ми часовой смене продолжительность обеденного перерыва составляет 30 мин, а регламентированные перерывы рекомендуется устанавливать через 2 ч от начала рабочей смены и через 2 ч после обеденного перерыва продолжительностью 5-7 мин каждый. Во время регламентированных перерывов с целью снижения нервно-эмоционального напряжения, утомления зрительного и других анализаторов целесообразно выполнять комплексы физических упражнений, включая упражнения для глаз, в первой половине рабочей смены, а в конце рабочего дня показана психологическая разгрузка.

Длительное перенапряжение от воздействия интенсивных нервно-эмоциональных нагрузок способствует развитию производственно-обусловленных заболеваний: атеросклероза, ишемической болезни сердца, гипертонической болезни, невротических расстройств и т.д.

Ряд мероприятий, позволяющих уменьшить влияние вредных факторов на работника при работе за ПК: каждый час необходимо делать перерыв, для выполнения гимнастики для глаз, а также выполнять несколько упражнений на расслабление, которые могут уменьшить напряжение, накапливающееся в мышцах при длительной работе за компьютером.

Особенностью развития состояния профессионального стресса является сочетание неблагоприятных факторов трудовой нагрузки с психологическими и организационными. Психологические факторы связаны с организацией работы: степенью широты и свободы принимаемых решений, уровнем влияния и контроля над собственной рабочей ситуацией, возможностью выбора путей и сроков выполнения задания и контроля над ним. Организационная структура и складывающиеся на работе межличностные взаимоотношения являются самыми сильными факторами, которые могут вызвать производственный стресс [11].

6.3.4 Отклонение показателей микроклимата

Разработка и численное моделирование производится за персональным компьютером. Согласно СанПиН 1.2.3685-21 [10] работа инженера-конструктора относится к категории легких работ (А1). Категория А1 относится к работам с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением.

В соответствии с СанПиНом 1.2.3685-21, показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются:

- а) температура воздуха;
- б) температура поверхностей ограждающих конструкций (стены, потолок, пол), устройств, а также технологического оборудования или ограждающих его устройств;
- в) относительная влажность воздуха; г) скорость движения воздуха;
- д) интенсивность теплового облучения.

Оптимальный микроклимат на рабочем месте обеспечивает ощущение теплового комфорта в течение работы при минимальном напряжении механизмов терморегуляции человека, не вызывает отклонений состояния

здоровья, обеспечивает условия для высокого уровня работоспособности и является предпочтительным на рабочем месте.

Допустимые значения показателей микроклимата для категории А1 приведены в таблице 6.3.4.

Таблица 6.3.4 – Допустимые значения показателей микроклимата по СанПиНу 1.2.3685-21

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22-24	21-25	60-40	0,1
Теплый	23-25	22-26	60-40	0,1

Допустимые значения показателей обеспечиваются с помощью систем отопления, вентиляции и кондиционирования.

Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путем. В помещения, оснащенные персональными компьютерами, должны подаваться достаточные объемы свежего воздуха, нормы которых приведены в таблице 6.3.4.1.

Таблица 6.3.4.1 – Нормы подачи свежего воздуха по СанПиН СанПиНом 1.2.3685-21

Характеристика помещения	Объемный расход подаваемого в помещение, свежего воздуха м ³ /на одного человека в час
объем до 20 м ³ на человека	Не менее 30
объем 20...40 м ³ на человека	Не менее 20
более 40 м ³ на человека	Естественная вентиляция

Разработка происходит в помещении, в котором имеется естественная вентиляция, при которой воздух поступает и удаляется через окна, двери и щели. При таком типе вентиляции воздух, поступающий в помещение, не проходит предварительную очистку и нагрев. В рассматриваемом помещении

не выполняется требование относительно объема воздуха на одного человека, поэтому необходимо применение механической вентиляции.

6.3.5 Повышенный уровень шума

При выполнении работ, описанных выше, специалист может оказаться под шумовым воздействием со стороны оборудования, находящегося в рабочем помещении: персональные компьютеры, печатающие устройства, оборудование поддержки микроклимата (кондиционеры, вентиляция) и прочее.

Работы, выполняемые специалистом, оцениваются как научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, следовательно, согласно СНиП 51.13330.2011 эквивалентный максимальный уровень звука в рабочем помещении не должен превышать 65 дБА.

Таблица 6.3.5 – Допустимые уровни звукового давления, эквивалентные и максимальные уровни звука на рабочих местах СНиП 51.13330.2011 Защита от шума. [7]

Назначение помещений или территорий	Уровень звука, (эквивалентный уровень звука), дБА	Максимальный уровень звука, дБА
12 Помещения офисов, рабочие помещения и кабинеты административных зданий, конструкторских, проектных и научно-исследовательских организаций:		
категории А	45	60
категорий Б и В	50	65

Наиболее эффективная защита от производственного шума создается с помощью специальных архитектурно-строительных решений на этапе проектирования здания, планировки офиса и рабочих мест в нём.

В качестве дополнительных мер по защите от шума можно применять различные звукоизолирующие кожухи, акустические экраны, звукопоглощающие отделочные материалы.

Средства индивидуальной защиты: применение защитных средств органов слуха (наушники, беруши, антифоны).

Типы и группы СИЗ органов слуха следует выбирать в соответствии с требованиями ГОСТ 12.4.275-2014 «Средства индивидуальной защиты органа слуха».

6.3.6 Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов

При работе в лаборатории присутствуют источники механического травмирования, которые можно разделить на реально и потенциально опасные. К первым можно отнести: шероховатости поверхности, риски, заусенцы, острые кромки и выступы на различных частях оборудования и инструмента, а также частицы абразива при заточке инструмента. Возникают порезы и ссадины, которые отрицательно влияют на кожный покров, чаще всего руки человека. Ко вторым: стеллажи с инструментом, оборудованием, коробки, которые при неправильной их укладке могут обрушаться, площадки обслуживания оборудования на высоте, лестницы при несоответствии их требованиям безопасности и т. д.

Средства коллективной защиты от механического травмирования стандартизованы ГОСТ 12.4.125-83 и включают в себя целый ряд подвидов [24].

Защитные устройства должны удовлетворять следующим общим требованиям:

- предотвращать контакт рук и других частей тела человека, его одежды и других предметов с опасными режущими частями;
- должны быть изготовлены из прочных материалов, выдерживающих условия нормальной эксплуатации;

-не создавать иных опасностей, не иметь режущую кромку, заусенец или шероховатости поверхности;

- не мешать выполнению работ.

Чтобы снизить воздействие необходимо использовать перчатки, спецодежду, соблюдать технику безопасности [26].

6.3.7 Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий

Все оборудование должно быть выполнено в соответствии с требованиями [4], [5], [9], [14], [15]. Комната, в которой выполнялась работа, относится к категории помещений без повышенной опасности. Но в процессе деятельности с компьютером и другими установками может возникнуть опасность поражения электрическим током. Основными причинами этого могут послужить следующие факторы: прикосновение к токоведущим частям или прикосновение к конструктивным частям, оказавшимся под напряжением. С целью исключения опасности поражения электрическим током необходимо соблюдать следующие правила электрической безопасности:

- перед включением компьютера и установки в сеть должна быть визуально проверена ее электропроводка на отсутствие возможных видимых нарушений изоляции, а также на отсутствие замыкания токопроводящих частей на корпус компьютера или станину установки;

- при появлении признаков замыкания необходимо немедленно отключить от электрической сети компьютер или другие устройства;

- запрещается при включенном компьютере или другим устройствам одновременно прикасаться к приборам, имеющим естественное заземление.

К защитным мерам от опасности прикосновения к токоведущим частям электроустановок относятся: изоляция, ограждение, блокировка, пониженные напряжения, электрозащитные средства.

Среди распространенных способов защиты от поражения электрическим током при работе с электроустановками различают:

- защитное заземление – предназначено для превращения «замыкания на корпус» в «замыкание на землю», с тем, чтобы уменьшить напряжение прикосновения и напряжение шага до безопасных величин (выравнивание самый распространенный способ защиты от поражения электрическим током;
- зануление – замыкание на корпус электроустановок;
- системы защитного отключения – отключение электроустановок в случае проявления опасности пробоя на корпус;
- защитное разделение сетей;
- предохранительные устройства.

Для ликвидации возгорания применяются только порошковые углекислотные (ОУ-3) огнетушители для тушения возгораний в электроустановках.

К работам на электроустановках допускаются лица, достигшие 18 лет, прошедшие инструктаж и обученные безопасным методам труда. К тому же электробезопасность зависит и от профессиональной подготовки работников, сознательной производственной и трудовой дисциплины. Целесообразно каждому работнику знать меры первой медицинской помощи при поражении электрическим током.

6.3.8 Факторы, связанные с высокой температурой материальных объектов, могущих вызвать ожоги тканей организма человека

При пайке паяльником на работника могут воздействовать опасные и вредные производственные факторы могущих вызывать ожоги:

- повышенная температура поверхности изделия, оборудования, инструмента и расплавов припоев;
- повышенная температура воздуха рабочей зоны [25].

Контакт с горячей (свыше 45 °С) поверхностью может вызвать ожоги незащищенных участков тела.

Меры защиты:

- перчатки с полимерным покрытием;
- очки защитные;
- изолирование таких участков при помощи полимеров [27].

6.3.9 Факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания (включая пары)

При пайке паяльником на работника могут воздействовать опасные и вредные производственные факторы:

- повышенная загазованность воздуха рабочей зоны парами вредных химических веществ;
- повышенная температура поверхности изделия, оборудования, инструмента и расплавов припоев;
- повышенная температура воздуха рабочей зоны;
- пожароопасность;
- брызги припоев и флюсов [25].

Присутствуют следующие пары: Свинец является чрезвычайно опасным веществом (класс 1), в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88, ПДК в воздухе рабочей зоны может составлять не более 0,01 мг/м³. Олово является веществом умеренно опасным (класс 3). ПДК в воздухе рабочей зоны олова – 10 мг/м³. Канифоль сосновая является малоопасным веществом (класс 4). ПДК в воздухе рабочей зоны – 80-1000 мг/м³ [29].

Пары свинца при систематическом воздействии на человека могут вызывать соматическое расстройство нервной системы, а также проблемы сердечно-сосудистой системы. При систематическом воздействии, олово может приводить к затруднению дыхания и поражению бронхов; в особо тяжелых случаях происходит отечная реакция легких. Канифоль оказывает раздражающее и наркотическое действие, при длительном действии вызывает дерматит

Работники, занятые пайкой паяльником, должны обеспечиваться средствами индивидуальной защиты органов дыхания фильтрующее или изолирующее.

Работы с вредными и взрывопожароопасными веществами при нанесении припоев, флюсов, паяльных паст, связующих и растворителей должны проводиться при действующей общеобменной и местной вытяжной вентиляции. Системы местных отсосов должны включаться до начала работ и выключаться после их окончания. Работа вентиляционных установок должна контролироваться с помощью световой и звуковой сигнализации, автоматически включающейся при остановке вентиляции.

6.4 Экологическая безопасность

Выявлены следующие источники загрязнения окружающей среды.

Воздействие на атмосферу (выброс).

Минимальные выбросы происходит от кондиционирования воздуха в помещении. А также выбросы от паров различных веществ при пайке. Используется вентиляция помещений, которая предназначена для уменьшения запыленности, очистки воздуха от паров вредных веществ. Система вентиляции обеспечивает снижение содержания в воздухе помещения пыли, паров вредных веществ до концентрации, не превышающей ПДК. Путём рассеивания через вентиляционные трубы, предварительно пройдя фильтрацию [29].

Для очистки технологических и вентиляционных выбросов от газов и паров применяют адсорберы. Адсорбция представляет собой процесс поглощения газов или паров поверхностью твердых веществ – адсорбентов. Адсорбенты, используемые в процессах очистки отходящих газов, должны удовлетворять следующим требованиям: - Иметь большую адсорбционную способность при поглощении компонентов при небольших концентрациях их в газовых смесях. - Обладать высокой селективностью; иметь высокую

механическую прочность. - Обладать способностью к регенерации. - Иметь низкую стоимость. В качестве адсорбентов наибольшее распространение нашли такие материалы, как активные угли, силикагели, алюмогели и цеолиты.

Эксплуатация люминесцентных ламп требует осторожности и чёткого выполнения инструкции по обращению с данным отходом (код отхода 4 71 101 01 52 1, класс опасности – 1) [22]. Опасное вещество ртуть содержится в лампе в газообразном состоянии. Вдыхание паров ртути может привести к тяжелому повреждению здоровья. При перегорании ртутьсодержащей лампы (выходе из строя) её замену осуществляет лицо, ответственное за сбор и хранение ламп (обученное по электробезопасности и правилам обращения с отходом). Отработанные люминесцентные лампы сдаются только на полигон токсичных отходов для демеркуризации и захоронения. Запрещается сваливать отработанные люминесцентные лампы с мусором [13].

Воздействие на гидросферу (сброс).

Воздействие на гидросферу: минимальные выбросы от бытовых нужд. Источник воздействия - сточные воды. Сокращение загрязнения – использование водоочистных сооружений и отстойников, фильтрация. Регламентируется Постановлением Правительства РФ от 29.07.2013 N 644 (ред. от 30.11.2021) "Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации".

Воздействие на литосферу (отходы).

Загрязнение литосферы сокращается путем сортировки отходов производства и при возможности перерабатывать отходы производства. По закону утилизация компьютерной техники в России в настоящее время является обязательной процедурой для организаций, а в ряде зарубежных стран и для физических лиц. Производиться утилизация должна в соответствии с федеральными законами от 24.06.1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах

производства и потребления» и от 26.03.1998 № 41-ФЗ «О драгоценных металлах и драгоценных камнях», а также целым рядом подзаконных актов, постановлений и инструкций.

Списанная офисная техника, в соответствии с формулировкой закона также является отходом третьего класса опасности (т.е. умеренно опасным). Соответственно, для утилизации её можно передавать лишь компаниям, имеющим необходимую лицензию в соответствии со ст. 17 Федерального закона «О лицензировании отдельных видов деятельности» № 128-ФЗ от 08.08.2001г. При этом, согласно статье 8.2 КоАП РФ, «несоблюдение экологических и санитарно-эпидемиологических требований при сборе, накоплении, использовании, обезвреживании, транспортировании, размещении и ином обращении с отходами производства и потребления» влечет наложение штрафа.

6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятным чрезвычайными ситуациями в кабинете, оборудованном компьютерами является пожар на рабочем месте. Потенциальное возникновение пожара связано с возможным накоплением токоведущей пыли внутри компьютера, что может привести к короткому замыканию, возгоранию пыли и, если не будет не принято никаких мер, распространению пожара. В связи с возможной угрозой возникновения пожара был разработан план действий согласно с ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ [17]:

- в случае обнаружения возгорания необходимо сообщить руководителю и попытаться потушить очаг возгорания своими силами с помощью средств первичного пожаротушения такими как: огнетушитель (порошковый, углекислотный);
- в случае если потушить очаг возгорания не удастся, привести в действие ручной пожарный извещатель;

- немедленно сообщить о чрезвычайной ситуации в пожарную охрану по телефону 01 (сотовый 112), назвать адрес объекта, место и причины возникновения пожара;

- принять меры по эвакуации людей, материальных ценностей;
- приступить к тушению пожара, отключив электроэнергию;
- встретить подразделения пожарной охраны и, при необходимости, оказать помощь при выборе наилучшего пути для подхода к очагу пожара.

Выводы по разделу

В данном разделе были рассмотрены возможные вредные и опасные факторы. Выявлено что освещённость рабочей зоны, уровень электромагнитных излучений соответствует нормативным значениям, показатели микроклимата не соответствуют нормам. Уровень шума не превышает допустимых значений, а психофизические факторы при соблюдении МР 2.2.9.2311-07 окажут минимальное воздействие на здоровье человека.

Рабочий кабинет с наличием компьютеров по пожарной безопасности относится к категории В, в нём находятся горючие материалы и вещества в холодном состоянии. По степени огнестойкости данное помещение относится к 3-й степени огнестойкости. Возможные причины пожара: перегрузка в электросети, короткое замыкание, разрушение изоляции проводников.

Инженер-конструктор работающий за персональным компьютером относится к I группе персонала по электробезопасности согласно Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок [19].

Согласно СанПиН 1.2.3685-21 [10] работа инженера-конструктора относится к категории легких работ (Ia).

По взрывопожарной и пожарной опасности согласно СП 12.13130.2009 [20] данное помещение относится к помещениям Г негорючие вещества и материалы.

Согласно критериям отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду [21] разработка и исследования, а также одновременно наличие критериев 1, 2, 8, 9, 10, 11 относятся к объектам IV категории.

Список использованных источников раздела

1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.03.2022).
2. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
3. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
4. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
5. ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.
6. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.
7. СНиП 51.13330.2011. Защита от шума.
8. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение.
9. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
10. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания".
11. МР 2.2.9.2311-07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности».
12. Назаренко О.Б. Безопасность жизнедеятельности. Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. – Томск: Изд. ТПУ, 2005. – 12 стр.

13. Об утверждении правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащие сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям и окружающей среде: Постановление Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2020 года № 2314.

14. ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.

15. ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

16. Федеральными законами от 24.06.1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления».

17. ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ. «Пожарная безопасность. Общие требования».

18. Правила устройства электроустановок. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200030216> свободный. Дата обращения: 08.04.2022.

19. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573264184> свободный. Дата обращения: 08.04.2022.

20. СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».

21. Критерии отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573292854> свободный. Дата обращения: 08.04.2022.

22. Перечень среднестатистических значений для компонентного состава и условия образования некоторых отходов, включенных в федеральный классификационный каталог отходов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/420310130> свободный. Дата обращения: 23.04.2022.

23. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы магистра /инженера всех направлений (специальностей) и форм обучения ТПУ. Составители Е.Н. Пашков, А.И. Сечин, И.Л. Мезенцева, О.А. Антонец, И.И. Авдеева, 2022. - 18 с.

24. ГОСТ 12.4.125-83. «Средства коллективной защиты работающих от воздействия механических факторов».

25. ТИ Р М-075-2003 Межотраслевая типовая инструкция по охране труда для работников, занятых пайкой и лужением изделий паяльником. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901899291> свободный. Дата обращения: 07.05.2022.

26. 835н, Об утверждении Правил по охране труда при работе с инструментом и приспособлениями. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573068704> свободный. Дата обращения: 07.05.2022.

27. 997н, Об утверждении Типовых норм бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам сквозных профессий и должностей всех видов экономической деятельности, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/420240108> свободный. Дата обращения: 07.05.2022.

28. 644, Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации (с изменениями на 30 ноября 2021 года).

29. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

30. ГОСТ 12.4.011-89. Средства защиты работающих [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200000277> свободный. Дата обращения: 07.05.2022.

31. 906н, Об утверждении Типовых норм бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам химических производств, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением (с изменениями на 20 февраля 2014 года). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902295797> свободный. Дата обращения: 07.05.2022.

7 РАЗДЕЛ ИНОСТРАННОГО ЯЗЫКА

Раздел иностранного языка

Перевод разделов «Обзор», «Исследование», «Эксперимент»

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ01	Петренко Юрий Игоревич		

Консультант школы ИШНПТ, отделения Машиностроения:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дерюшева Валентина Николаевна	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения Иностранных языков школы ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Зяблова Наталия Николаевна	к.ф.н.		

Introduction

Any enterprise competing in the field of high-tech products in order to become a leader or remain a leader in the market. It is necessary to carry out a large amount of research and development work annually. At the same time, try to keep the cost, time, and resources spent on the product to a minimum. Moreover, the quality was accurately predicted, the optimal production technology was determined.

After all, before getting to the customer, the product goes a long way. When designing, engineers of various specialties are involved, an interdisciplinary approach is applied, computer-aided design systems (CAD) are used, as well as other software and modules, methods that allow virtual testing (numerical simulation) before proceeding with full-scale testing of the manufactured product.

All this requires fundamental theoretical training, versatile skills and practical experience. One of the most important stages after product design is numerical simulation. In particular, the movement of gas flows in close proximity to the product.

The purpose of the work: To reveal the influence of the geometric parameters of the blade of an aircraft on the lifting force. Conduct numerical simulation of various conditions (loads, forces acting on an aircraft blade) in the SOLIDWORKS Flow Simulation software package.

To achieve the goal, it is necessary to solve the following tasks:

- Select and study materials, literature on the topic.
- Consider implementation options, calculations and patent work.
- Design a 3D model of an aircraft blade.
- Carry out CFD modeling (gas dynamics or aerodynamics).
- Conduct research on various blade options.
- To sum up.

Subject of study: is the spatial distribution of velocity, pressure and direction of the oncoming flow.

Research methods: when solving the tasks set, numerical simulation methods were used using the SOLIDWORKS Flow Simulation software package in gas dynamics calculations.

Practical significance: in the possibility of using the obtained results for further application in small aircraft. As well as developing skills in numerical simulation software modules.

The relevance of the work.

Today, interest in small aircraft (UAVs) has increased. With their help, you can carry loads, process large areas, forests or farmland. Apply in the cadastral field, geodesy, land management and urban planning. In the oil and gas sector (for inspection of hard-to-reach places, monitoring). In agriculture, they are already used for irrigating fields, identifying plant pathologies, recording and tracking crop growth (iFarm technology). For monitoring power lines (obtaining data on vegetation, the influence of which creates the prerequisites for disrupting the normal operation of power lines). Commercial use for shipping purposes (examples: Amazon, Alibaba, DHL, FedEx).

The use of virtual simulation tools in the development and study of aircraft elements reduces the time for R&D (scientific research and development work), for the manufacture of test benches and helps to achieve the greatest effect with less labor. At the same time, a graduate of a higher educational institution must have the skills of digital modeling and be able to work in such tools that are already used in industry. For example, CAD from SolidWorks, Ansys, Siemens (Amesim, Nastran, Femap, SIMIT, STAR-CCM+, Tecnomatix and others), etc. [1]

REVIEW

"Dron" - in a technological context, it is an unmanned aerial vehicle. Drones are formally known as unmanned aerial vehicles (UAVs/UAVs) or unmanned aerial systems (UASes). Essentially an unmanned flying robot.

Currently, unmanned aerial vehicles (UAVs) are used in the cadastral field, geodesy, land management and urban planning. In the oil and gas industry, they are used to inspect hard-to-reach places: from preparatory geodetic work to monitoring drilling rigs and main pipelines, monitoring leaks, and repairing equipment. In agriculture, UAVs are used to irrigate fields, identify plant pathologies using a remote detection method. Which explores photographic images obtained with the help of unmanned aerial vehicles. It is also used to record and track the growth of crops (iFarm technology). Also for monitoring power lines (to obtain data on vegetation, the influence of which creates the prerequisites for disrupting the normal operation of power lines). In the commercial sphere, the use of drones for the purpose of delivering goods. Example: The world's largest firms and retailers (such as: Amazon, Alibaba, DHL, FedEx) have already made a number of attempts to introduce UAVs into their delivery processes. As well as military applications.

Existing analogues

The existing working prototypes that fly and are used according to their intended purpose were considered. The drawings are as follows:

Development of VTOL (vertical take-off and landing), Figure 7.1.1 [6]. Designed for cargo transportation, thermal photo and video shooting, laser scanning, aerial photography of large areas. The solution includes an obstacle avoidance system using lidars and cameras and an automatic landing site selection system.



Figure 7.1.1 - View of the VTOL drone and blades

DJI Matrice m210 V2, Figure 7.1.2. [7]. A system for treating crops from pests, as well as monitoring crop areas.



Figure 7.1.2 - View of the drone DJI Matrice and blades

Bell V-22 Osprey, Figure 7.1.3. [8].



Figure 7.1.3 - View of the Bell V-22 Osprey aircraft and propellers

Loitering ammunition DefendTex D40, Figure 7.1.4 and Figure 7.1.5 [9]. A device with a caliber of 40 mm and a length of about 170-180 mm with a cylindrical body.



Figure 7.1.4 - View of the DefendTex D40 drone and blades



Figure 7.1.5 - View of the DefendTex D40 drone and blades

Drone, from Hoversurf, Figure 7.1.6 [10]. The company is actively testing its flying pilot/drone taxi. Prior to that, having developed the Scorpion 3 hoverbike.



Figure 7.1.6 - View of the drone "Hover"

Patents

In the course of the study, descriptions of patents were studied, such as:

- Patent US20160083073A1, "VEHICLE NOISE CONTROL AND COMMUNICATION (VEHICLE NOISE CONTROL AND COMMUNICATION)", patent illustrations figure 7.2.1.

- Patent US9260184, "Compact unmanned rotary aircraft (Compact unmanned rotary aircraft)", illustrations to the patent figure 7.2.2.
- PATENT 15708 "Two-blade propeller with flexible blades".
- Patent 2271309 "HELICOPTER", illustrations to the patent figure 7.2.3.
- Patent 2706765 "Modular multi-rotor vertical takeoff and landing unmanned aerial vehicle and its control method".
- RU204990U1 "Transformer Drone".
- RU2710968C1 "Hybrid multicopter flying platform".
- RF patent №2062246 "AIR PROPELLER".
- US Patent N 4596512, "JET-SLOT PROPELLER BLADE", patent illustrations figure 7.2.4.
- Patent of the USSR, N 4869.
- RU2142895C1 "PROPELLER BLADE AND ITS BODY", patent illustrations figure 7.2.5.

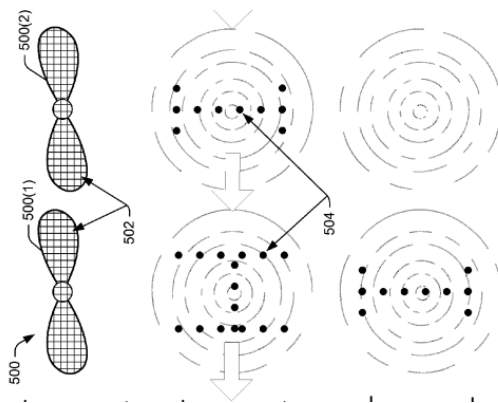


Figure 7.2.1 - Scheme of automated aircraft

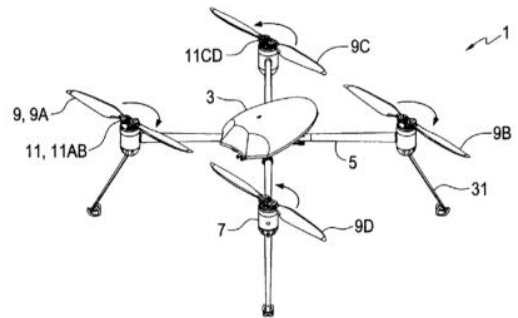
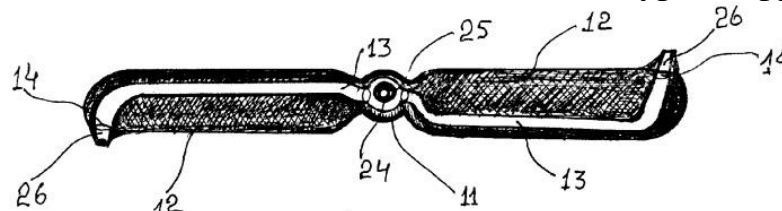


Figure 7.2.2 - Schematic type of apparatus



Фиг. 2
Figure 7.2.3 - Blade

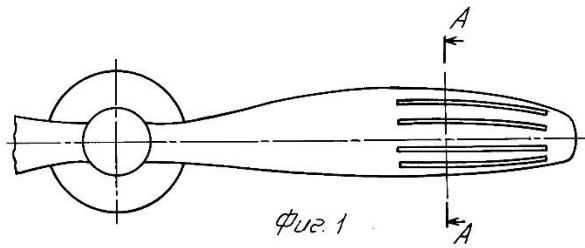


Figure 7.2.4 - Slotted blade

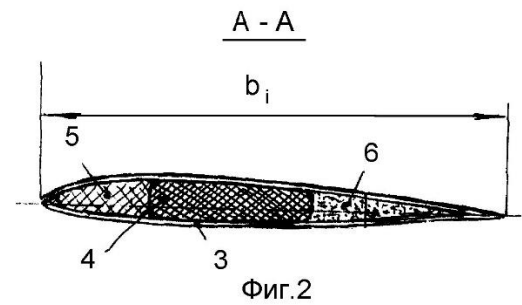


Figure 7.2.5 - The propeller blade, containing a feather and butt.

Patent RU 2 666 493 C1 "Unmanned aerial vehicle", illustrations to the patent figure 7.2.6

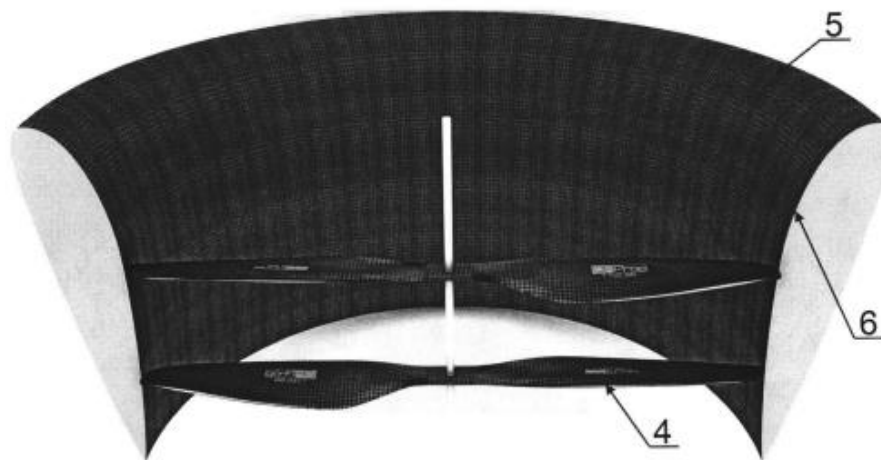


Figure 7.2.6 - Unmanned aerial vehicle

Other patent solutions were also considered. Patent 2706765, RU204990U1, RU2710968C1, RF patent No. 2062246, US patent N 4596512, USSR patent N 4869, RU2142895C1, patent 2593207C1, patent 2658684C1, patent 2399860C1, patent 2696632C1.

Realizability

WhalePower has developed and markets an airfoil design with knobs similar to those found on a whale's fin. According to Stephen Dewar, co-founder of WhalePower, their design provides more lift, creates less drag, stalls at a high angle of attack, and is almost silent [13].

The company's first target market was wind turbine blades. For six months, the unique blades worked on a Wenvor Technologies turbine with a capacity of 25 kilowatts and a span of 10 meters. According to WhalePower, results published in January 2009 showed a 20 percent increase in annual power generation compared to conventional turbine blades.

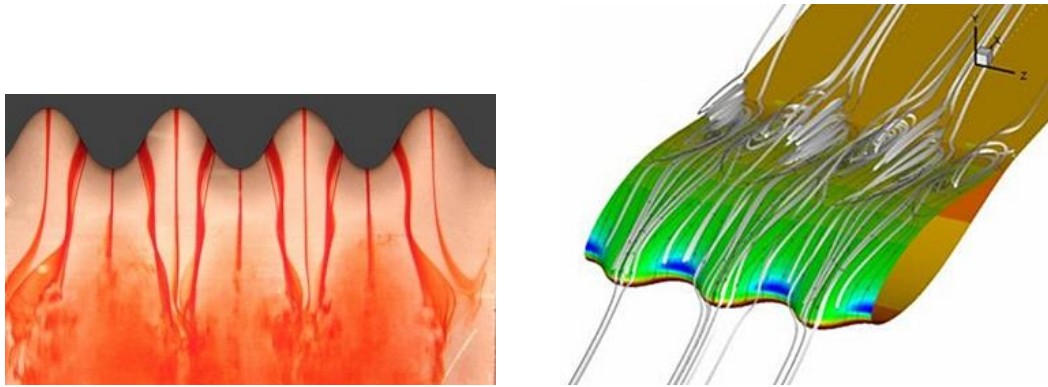


Figure 7.3.1 - Aerodynamics

The nubs on the leading edge of the WhalePower aerodynamic funnel direct airflow between bumps, which creates vortices that increase lift while reducing drag and tip stall.

"What's interesting is that if you shape the bumps properly, almost all of the airflow going to the blades will go through these channels," says Dewar. "This creates vortices behind the channel that attach the boundary layer of air to the airfoil and increase lift."

In addition, Dewar says the increased flow attachment allows the tubercular wing or fan blade to reach a much steeper angle of attack - the pitch of the blades in relation to the ram air - before they encounter stall and strong drag. To illustrate, if a conventional airfoil is tilted at more than 15 degrees, the top of the wing or blade will begin to lose traction with the airflow and the lift efficiency of the wing will plummet (i.e., stall).

With bumps, the critical angle of attack increases to 31 degrees, Dewar says. This means that the knobby turbine blade can be set at a greater angle, which in turn results in a higher lift coefficient. As a result, it can start generating power at lower wind speeds. Similarly, a knobby fan blade moves more air per revolution.

Finally, he says that an unexpected benefit of tubercular fan blades is that they are less noisy. “When you put a blade on a rotating platform like a turbine, the speed at the top is much faster than the core,” he explains. “In such an environment, it is very common for some air flow to separate from the surface of the blade; the centrifugal force then pushes it towards the tip, where it destabilizes the lift and causes the tip to stall. This not only reduces power, but also causes additional drag and vibration at the end that is out of proportion to the rest of the blade. This vibration makes wind turbines or any fans noisy.”

In contrast, according to Dewar, the bumps "trap" the airflow along the span and redirect it across the surface of the blade, thereby reducing tip stall and vibration noise without increasing drag.

The first company to adopt WhalePower technology was Seaforth, an ON-based Envira-North company, Canada's largest manufacturer of high-performance, low-speed industrial ceiling fans, which licensed hummock technology for its Altra-Air HVLS line. The company's fans range in diameter from 8 to 24 feet (2.4m to 7.3m) and are typically installed in large open spaces such as warehouses, distribution centers and arenas.

According to Joan Wood, sales coordinator at Envira-North, WhalePower's design has resulted in a ceiling fan that moves 20 percent more air using half as many blades as its previous models while using less energy. “Due to the efficiency of the blades, our fans can run at lower speeds,” says Joan Wood. “This means that it takes about 20 percent less energy to move more air than a conventional fan.”

The implications of Humpback-style design could be huge, Dewar says, given that fans are an essential component in everything from computers and microwave ovens to compressors, turbines and HVAC systems. Although the size of the global fan market is difficult to quantify, Dewar says savings of 20 to 30 percent in power consumption if WhalePower's fan blade design became standard could have a huge cumulative impact on energy consumption worldwide.

Commercial Applicability

Innovative solutions in the field of transport logistics are considered. Drones are probably one of the most promising branches of the development of transport logistics in the world, because they can tremendously reduce transportation costs when transporting short distances, because the cost of one delivery (within 24 kilometers) is only \$1. It is worth noting that the weight of the cargo should not exceed 2.26 kilograms, however, from the experience of the American online store and the large Amazon holding, it follows that 86% of all deliveries do not exceed the maximum carrying capacity of the drone [2].

It was their experience in using cargo drones that interested many companies in a completely new delivery method. In December 2016, Amazon made its first delivery in Cambridge, England. Called Amazon Prime Air, the service allowed delivery within 30 minutes if a warehouse was located within the area (see figure). The idea has revolutionized and paved the way for other companies that want to get their own unmanned delivery.



Figure 7.4.1 - Unmanned cargo drone Amazon Prime Air [3]



Figure 7.4.2 - Drone testing on iFarm vertical farm [11]

However, it should be understood that such concepts are far from perfect, because despite all the pluses, the minuses so far offset all the benefits from them (see table).

Table 7.4.1 - Advantages and disadvantages of using drones in logistics

Advantages	Disadvantages
Low transport costs	Privacy and security (private property and life)
Ability to deliver to hard-to-reach regions	Legislative regulation and restrictions
Fast delivery (relative to other modes of transportation)	Airborne problems (power lines, trees, birds)
Lack of human factor (accidents, delays, and so on)	Problems on the ground (vandalism, landing sites)
Environmental friendliness	Encounter with nature (frosty, rainy or windy weather)
Flexibility in the supply chain	-

Based on the data in the table, it can be seen that there is a range of unresolved problems associated with the operation of drones and the organization of logistics with their help. From that, it makes no sense to consider the benefits in the future. Drones are not ideal in the external environment. Geographical, climatic and meteorological features of the regions make it necessary to work out routes based on a large amount of variables.

Windy, frosty or rainy weather becomes an obstacle to safe organized delivery, as navigation and stabilization hardware, as well as various sensors, are able to work correctly only in the most suitable conditions. The same unresolved problem remains vandalism. Due to the relatively low flight altitude, any unfriendly person is able to shoot down or damage the drone or cargo.

Speaking of problems, the main and most important is the legal one. In many countries, including Russia, there are 19 restrictions on the use of airspace. On the territory of the Russian Federation, in accordance with Decree of the Government of the Russian Federation dated February 3, 2020 No. 74 “On Amendments to the Federal Rules for the Use of the Airspace of the Russian Federation” [4].

Section Conclusions

The section considers existing analogues (not all were presented in the text), which show that unmanned aerial vehicles are increasingly being used in various fields of activity.

A patent review was conducted, which showed that there are a large number of developments and bold decisions. That reflects the constant development in this direction. The development of small aircraft will give impetus to the development of not only the area occupied by the city, but the volume of space. According to the principle of volume, it is an order of magnitude larger than the plane, and it will be possible to move along this volume. It all starts small, simple in execution. Then it grows into an entire industry.

There are already some advances from the study of the shape of the blade and its relationship with air flow.

The commercial side of the issue and legal risks are considered.

All this gives a guide, helps to understand what is possible to achieve today and how much it will cost. Knowing before you spent it yourself - is it worth it? Are you doing the right thing, why are you doing it? Where to get components, how the development and modeling, testing was carried out. You learn intermediate things before you break a bunch of electronics and engines yourself. According to the first estimates, the payback of the project, technical feasibility, how much time will be done, what you need to learn before you start - in order to model effectively. How were the nodes of the structure implemented? What materials are available and used? Many things must be timely. What are the weak points of the design and what you need to pay attention to. And what is not worth it and you need to take it ready, thus saving time.

STUDY

Description

Over the past decades, due to the growth of computing capabilities of the computer, the computational fluid dynamics has been rapidly developing [8].

Computational fluid dynamics is a subsection of continuum mechanics, which includes a set of physical, mathematical and numerical methods designed to calculate the characteristics of flow processes. In a simple way, CFD analysis helps to create a gas or liquid flow in the program (similar to an experiment in a wind tunnel). Thus, it provides information and insight into the flow at any point at any time. The following parameters are calculated: pressure, speed, direction of flow / propagation, density, temperature, frequency and amplitude of oscillations (when calculating wave phenomena, for example: sound, electromagnetic waves) and more.

Solution approaches. In the case of modeling a real process, the so-called discretization of space and time is carried out in such a way that the process geometry is divided into calculated cells selected in a special way, and the process time is divided into calculated time intervals. There are various methods for solving a system of equations, for example:

- finite volume method;
- finite difference method;
- finite element method.

The finite volume method (FVM) is a method for representing and evaluating partial differential equations in the form of algebraic equations. In CIE, volume integrals that contain a divergence term are converted into surface integrals. These terms are then evaluated as fluxes on the surfaces of each volume. Since the flow entering a volume is identical to the flow leaving an adjacent volume, these methods are conservative. Another advantage of the CIE is that it is easily formulated to account for unstructured grids. It is this method that is used in many CFD packages.

To begin with, some closed region of the flow of a liquid or gas is selected, for which a search is made for fields that describe the state of the medium in time and satisfy certain laws formulated mathematically. The most used are the conservation laws in Euler variables.

In other words, when formulating the MCO, the physical interpretation of the quantity under study is used. For example, when solving problems of heat transfer, the law of conservation of heat in each control volume is used.

The finite difference method (FDM) is a numerical method for solving differential equations by approximating their difference equations, in which finite differences are approximated into derivatives. The MCS transforms linear (or non-linear) partial differential equations into a system of linear (non-linear) equations, which are then solved using matrix algebra methods. The reduction of a differential equation to a system of algebraic equations makes the problem of finding a solution ideal for a numerical solution. Today, MCS is the dominant approach to the numerical solution of partial differential equations.

The finite element method (FEM) is a numerical method for solving problems of engineering and mathematical physics. Statement of problems by the finite element method leads to a system of algebraic equations. The FEM approximates an unknown function over a domain. The area is divided into a set of finite elements. FEM uses variational methods and variational calculation to approximate the solution by minimizing the associated error function.

The finite element method is more complicated than the finite difference method in implementation. FEM, however, has a number of advantages that manifest themselves in real problems: an arbitrary shape of the processed area; the grid can be made sparser in places where special accuracy is not needed. In addition, CFD analysis makes it possible to obtain data, the measurement of which by experimental methods may be difficult or even impossible [9].

Airfoil

The element under consideration is the blade of an aircraft. One of the NACA (National Advisory Committee for Aeronautics, National Advisory Committee for Aeronautics) numbers was taken as the basis, with a subsequent change. NACA airfoils are forms of airfoils for aircraft wings. Figures 7.3.2.1 show a modified profile.

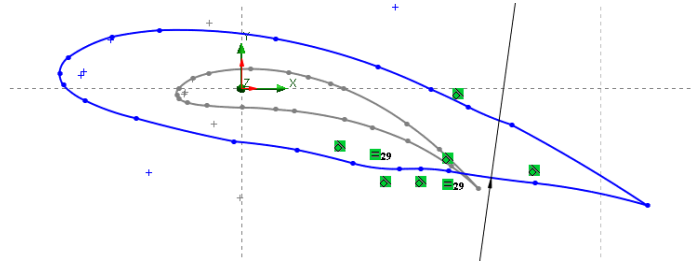


Figure 7.3.2.1 - Blade profile



Figure 7.3.2.2 - Combination of several blade profiles

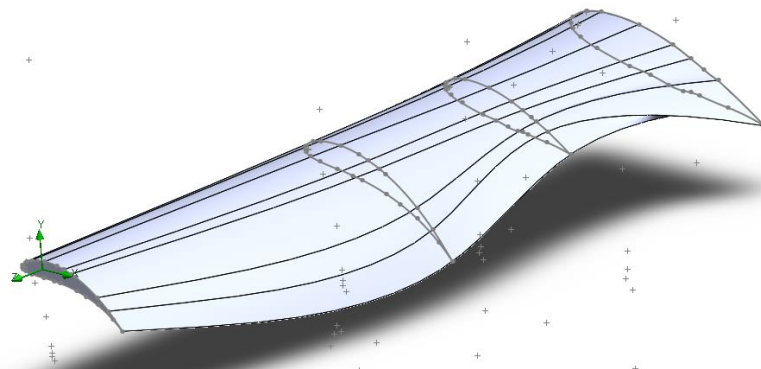


Figure 7.3.2.3 - Shape of the blade

Mesh and computational domain

For numerical simulation in a gaseous environment of a model of a drone blade {Drone (eng. drone - "drone") or a drone - remotely controlled or autonomous

(but not piloted!), a robot capable of moving freely in its natural environment}, separately and as an assembly, a Cartesian rectangular computational mesh with cut faces. As an example, illustrations of how it looks in SOLIDWORKS Flow Simulation are given (Fig. 7.3.4.1). In terms of Flow Simulation, such a mesher is called a trimmer. This method allows you to build a grid that provides high accuracy of calculations and, at the same time, is economical in terms of computing resources.

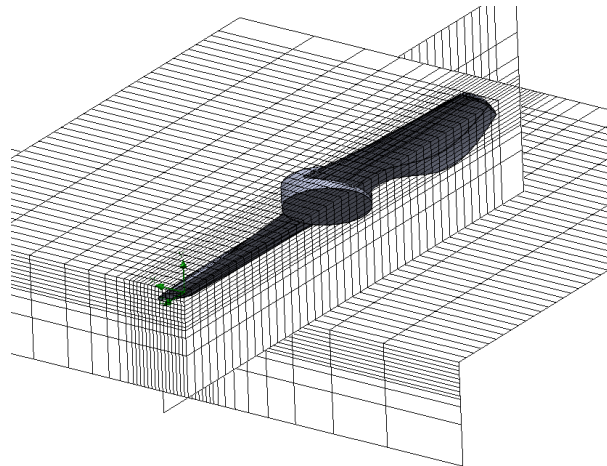


Figure 7.3.4.1 - View of the grid, blade isometry

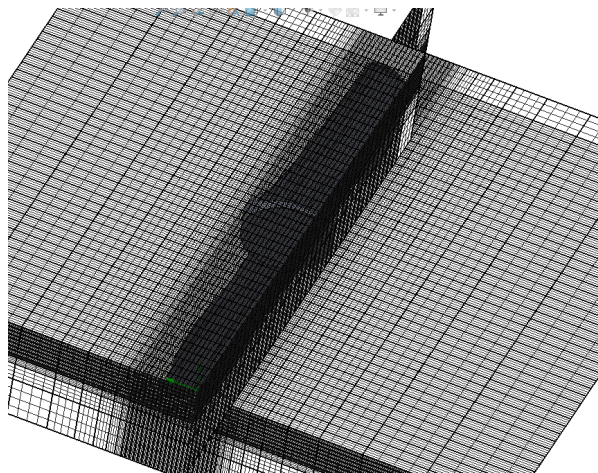


Figure 7.3.4.2 - View of the grid in the isometry of the blade (with manual adjustment of the grid)

To evaluate the change in the flow behind the airfoil and for more accurate numerical simulation, a mesh refinement around the blade model was set. The average cell size is usually set as 25% of the base. To thicken the mesh on the model surface in order to more accurately describe the elements, an average cell size equal to 2% of the base one is usually used. The final computational grid for the blade is

shown in Figure 7.3.4.2. The total number of cells on average for all calculations of the blade was approximately 1,360,341.

Objectives and criteria considered

There are four types of targets: global (a physical parameter calculated for the entire computational domain), surface (a physical parameter calculated on a user-specified surface), a volume target (defined for assemblies), a functional target (expressed by functions consisting of simple mathematical operations) [15, 16, 17], Figure 7.3.5.1.

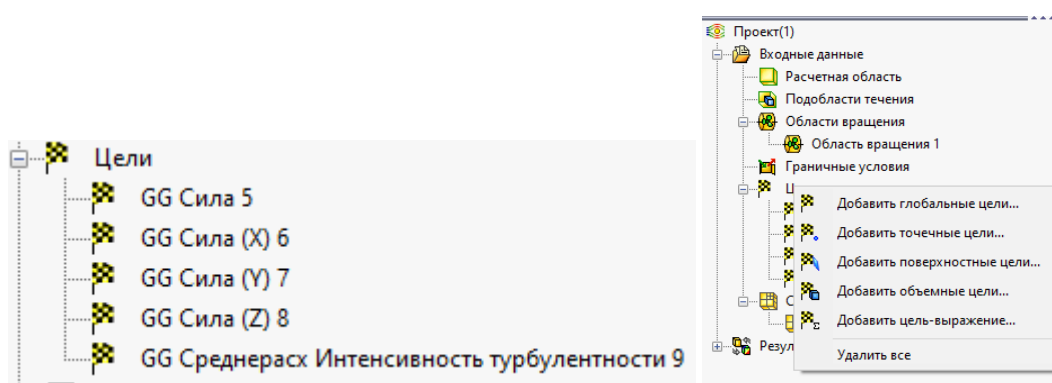


Figure 7.3.5.1 - Goals

The accuracy of the obtained solution is understood as the values of all independent variables of the stationary problem, in all cells of the grid of the computational domain. As well as the interpolation of these values (and extrapolation, if necessary, in particular to the surface of solid bodies, since the discrete values of the variables are defined in the centers of the calculation cells) to the entire calculation area. The solution of a non-stationary problem is the values of all variables in all grid cells of the computational domain at all calculated points in time.

In the global goal, the thrust force in Newtons, the intensity of turbulence in percentage terms were considered.

The results of the calculation of the final value were viewed as follows: patterns in the section, patterns on the surface, flow trajectories, surface parameters, isosurfaces, streamlines.

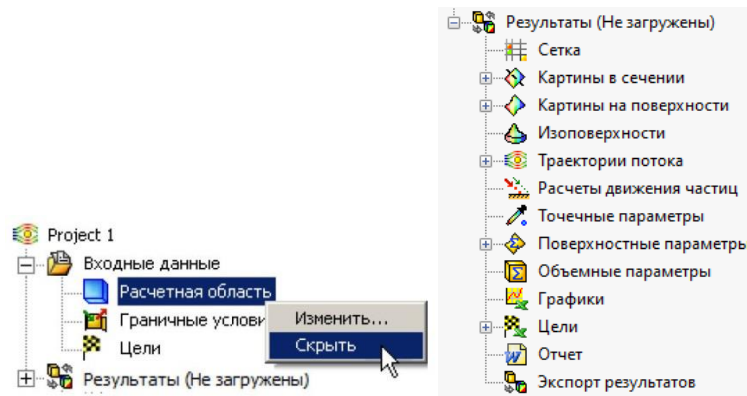


Figure 7.3.5.2 - Computational area and analysis tree

The calculation area dimensions are 960x960x1200 mm and the second dimensions of the calculation area are 340x110x50 mm.

Blade, diameter 265 mm, height 18 mm, Figure 7.3.5.3.

Blade rotation range from 8000 to 10000 rpm (838-1048 radians/s). On real motors, 10,000 rpm (1048 radians / s).

CHAPTER - EXPERIMENT

After the use of numerical simulation tools made it possible to consider many prototypes and select the best design option, take into account all the physical factors that affect the characteristics of the product, conduct virtual tests of all models, and on a real scale, without applying various similarity criteria and scaling factors. This helped to reduce the number of physical samples and thereby reduce the cost and labor intensity of development. In addition, the results of numerical simulation are integrated into the concept of a digital twin of a product.

Further, it is necessary to assess the degree of reliability by validation. Verification was not considered for a number of reasons. (Verification is the process of determining the degree of completeness, adequacy and level of accuracy of the numerical implementation of the accepted conceptual model. The problem of verification of mathematical models of gas-dynamic phenomena affects the issues

of continuum, discrete mathematics and the correctness of complex logical structures (computer codes).)

The task of validation is to establish to what extent the adequacy of formal theoretical constructions (mathematical models) can be verified by physical observational data. Validation allows you to determine how accurately the chosen conceptual model describes the physical phenomenon under study by comparing numerical and experimental data [14].

To validate the obtained values, the equipment for conducting the experiment has been prepared. The essence is to load the structure with loads, weighing in parallel, to see at what values of mass there will be a separation from the surface of the motor with blades. Figure 7.1 shows blades with motors from a quadcopter with unknown parameters. Figure 7.2 shows the necessary equipment and tools for collecting and launching. Figure 7.3 shows a platform with weighing, superstructures to ensure that there is no tilting of the structure, a section for loading loads in the form of coins. Coins with a gram of 2 grams, 4 grams, 5 grams, 7 grams, 8 grams, 11 grams.



Figure 7.1 – Blades with motors



Figure 7.2 – Blade



Figure 7.3 – Blades on supports, weight of the structure



Figure 7.5 - Weight of the element

Since the engine speed is not known, there are no designations, markings determined experimentally. The rotation of the blade starts, any rigid bar is brought

into the rotation zone. There is a collision of the blade with the bar, a characteristic noise is created. With the help of sound recording, a sound track is recorded and analyzed. The maximum amplitude (frequency) corresponds to the sound of the impact of a part of the blade on the bar per unit time. The number of strokes per unit of time is counted. The maximum amplitudes are considered. Thus, it is approximately clear how many revolutions per unit time the blade makes. An example of an audio track in Figure 7.6 and 7.8. The necessary number of experiments is carried out until a sufficient understanding of the patterns and relative coincidence (constancy) of the results of the rotation of the blade.



Figure 7.6 - More successful soundtrack of noise from the impact of the bar on the edge of the blade

It is fixed on paper, analysis is carried out, Figure 7.7

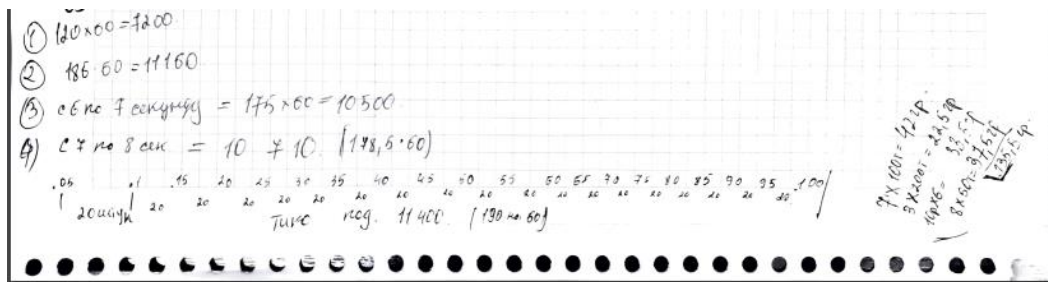


Figure 7.7 - Fixing measurements



Figure 7.8 - Less successful soundtrack of noise from the impact of the bar on the edge of the blade

There is a blade, we transfer the dimensions to the SOLIDWORKS 3D model for numerical modeling. The blade is shown in Figure 7.9. Removing dimensions on the sketch and determining linear dependencies are shown in Figure 7.10.



Figure 7.9 - Blade

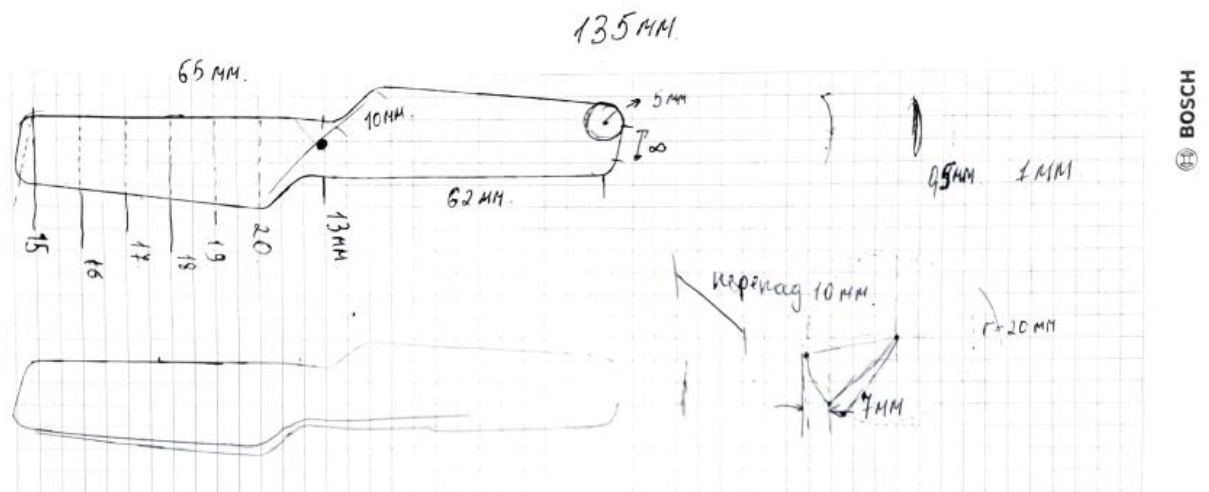


Figure 7.10 - Sketching

Visual comparison of the 3D model in SOLIDWORKS and the original blade, Figure 7.11 and Figure 7.12.

Список публикаций

Ю.И. Петренко, М.С. Кухта Разработка дизайна и эргономики корпуса многоцелевого станка Mazak INTEGREX i-200 // «Современные проблемы машиностроения» сборник трудов XIV Международной научно-технической конференции. 25–30 октября 2021 г. – Томск: Томский политехнический университет. – 288-289 с.

Ю.И. Петренко, В.Н. Дерюшева ЦИФРОВОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ // «Современные проблемы машиностроения» сборник трудов XIV Международной научно-технической конференции. 25–30 октября 2021 г. – Томск: Томский политехнический университет. – 239-240 с.

Выводы

По итогу проделанной работы изучена литература, патенты, существующие аналоги по данной тематике и рассмотрены другие материалы. Проведён обзор коммерческого применения малых летательных аппаратов. Где одним из главных элементов является лопасть. Спроектирована 3D модель и построена численная модель в программном комплексе Solidworks Flow Simulation. Рассмотрены и освоены принципы численного моделирования в среде SOLIDWORKS Flow Simulation и Simcenter FLOEFD. Смоделировано движение газовой среды. Рассчитана подъемная сила лопасти.

В второй главе описывается трёхмерная модель лопасти; представлены и проанализированы результаты численного решения. Проведено исследование влияния геометрии лопасти на подъемную силу. Подготовлено все необходимое для проведения испытаний по выявлению совпадения рассчитанного с реальностью. В четвёртой главе верифицированы результаты численного моделирования на реально существующей лопасти.

Полученные данные хорошо соотносятся с данными физического моделирования и теоретических расчетов. Полученные результаты могут стать основанием для расчётов при дальнейшем конструировании.

В результате проведенного исследования и расчетов можно сделать вывод о возможности применения программного пакета Solidworks Flow Simulation для обоснования технических решений, которые могут быть использованы на предварительных и последующих стадиях проектирования.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» проведён анализа конкурентных технических решений, SWOT-анализа, расчёты экономической эффективности, планирование работ, подсчитан общий бюджет исследования.

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены опасные и

вредные факторы, влияющие на здоровье и окружающую среду, а также указаны мероприятия по устранению этих факторов.

Список использованных источников

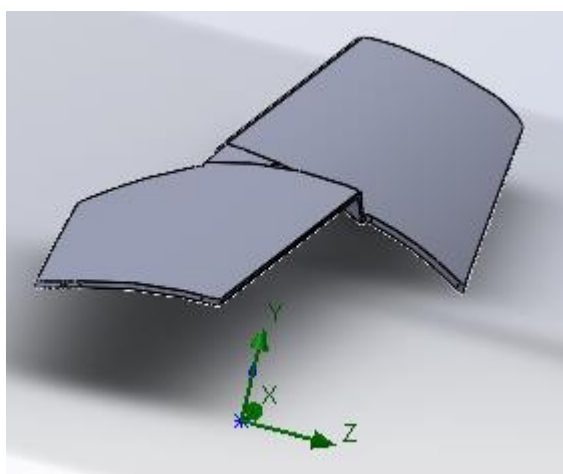
1. Siemens. [Электронный ресурс] – <https://new.siemens.com/ru/ru.html>. (дата обращения: 30.05.2022).
2. Science Debate [Электронный ресурс]. – Беспилотный транспорт. Режим доступа: <https://www.sciencedebate2008.com/development-of-unmanned-aerialvehicles/> / (дата обращения: 31.05.2022).
3. Amazon Prime Air [Электронный ресурс]. – Изображение дрона Amazon. Режим доступа: <https://www.amazon.com/Amazon-PrimeAir/b?ie=UTF8&node=8037720011> / (дата обращения: 31.05.2022).
4. Постановление Правительства Российской Федерации от 03.02.2020 № 74 "О внесении изменений в Федеральные правила использования воздушного пространства Российской Федерации" [Электронный ресурс]. – Постановление правительства РФ. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202002040016?index=0&rangeSize=1/> (дата обращения: 31.05.2022).
5. Воздушный винт [Электронный ресурс]. <http://www.avmodels.ru/air/screw.html> (дата обращения: 31.05.2022).
6. Мультироторный беспилотник [Электронный ресурс]. <https://nauka.tass.ru/nauka/13260995> (дата обращения: 31.05.2022).
7. Отрасли применения [Электронный ресурс]. <https://enterprise.4vision.ru/otrasli/> (дата обращения: 31.05.2022).
8. BELL BOEING V-22 OSPREY [Электронный ресурс]. <https://www.bellflight.com/products/bell-boeing-v-22> (дата обращения: 31.05.2022).
9. DEFENCE TECHNOLOGY [Электронный ресурс]. <https://www.defendtex.com/> (дата обращения: 31.05.2022).
10. Hoversurf [Электронный ресурс]. <https://skolkovo-resident.ru/test-drona-taksi/> (дата обращения: 31.05.2022).
11. Городские теплицы [Электронный ресурс]. – Изображение дрона iFarm <https://ifarmproject.ru/> (дата обращения: 31.05.2022).
12. РОСТСЕЛЬМАШ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rostselmash.com> свободный. Дата обращения: 31.05.2022.

13. Ветроустановка WhalePower. [Электронный ресурс] – <http://nacerp.ru/novosti-energetiki/alternativnaya-energetika/vetroustanovka-whalepower-kitovaya-sila.html>. (дата обращения: 31.05.2022).
14. Schlesinger S. Terminology for Model Credibility // Simulation, Vol. 32, No. 3, 1979; 103-104.
15. Алямовский А.А. COSMOSWorks. Основы расчета конструкций на прочность в среде SolidWorks. – М.ДМК Пресс, 2010, - 784с., ил. (Серия «Проектирование»).
16. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorksSimulation. - М.ДМК Пресс, 2010, - 464с., ил. (Серия «Проектирование»).
17. Алямовский А. А. Solid Works 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов, Ф.И. Харитонович, Н. Б. Пономарев, - Спб.: БХВ-Петербург, 2008. – 1040с.: ил. + DVD – (Мастер).
18. Прицкер Д. М., Сахаров Г. И. Аэродинамика. М., Машиностроение, 1968.
19. Харламов С.Н. Алгоритмы при моделировании гидродинамических процессов. – Томск. Изд-во ТПУ, 2008. - 80с.
20. Платонов Д.В. и др. Сравнительный анализ CFD-пакетов SigmaFlow и Ansys Fluent на примере решения ламинарных тестовых задач // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2013.
21. Salvi R. Navier-Stokes Equations Theory and Numerical Methods. 2002.
22. Ferziger, J. H., Peric M. Computational methods for fluid dynamics. Berlin. 1996.
23. SOLIDWORKS. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.solidworks.com/ru> (дата обращения 1.06.2022)
24. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ВОЗДУХА. АЭРОДИНАМИКА САМОЛЕТА. [Электронный ресурс] – URL:<http://aviaclub.ru/uploads/media/Aerodynamics.pdf>. (дата обращения 1.06.2022).
25. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шاپовалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.

26. A. P. Schaffarczyk, "Introduction to Wind Turbine Aerodynamics", Springer Heidelberg New York Dordrecht London, 2014.

27. T. Burton, N. Jenkins, D. Sharpe, E. Bossanyi, "Wind Energy Handbook", John Wiley & Sons, 2011.

Приложение А

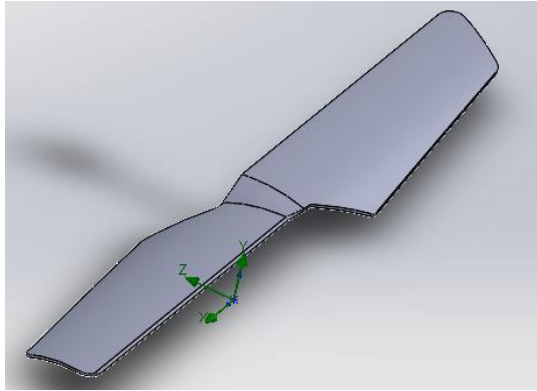


Текущая информация	
Параметр	Значение
Статус	Расчет завершен.
Все ячейки	1,382,171
Ячейки в текучей среде	1,382,171
Ячейки на границе раздела твердого тела с текучей сред...	17,762
Итерации	290
Последняя итерация завершилась	02:16:15
Процессорное время на последнюю итерацию	00:00:15
Продувки	1.33634
Итераций на 1 продувку	218
Процессорное время	1 : 25 : 41
Оставшееся время расчета	0 : 0 : 0
Запустить на	DESKTOP-HPENG8
Количество ядер	7

Список целей				
Имя	Текущее значение	Прогресс сходимости	Критерий	Среднее значение
SG Сила (X) 9	0.00203259 N	Достигнуто (IT = 218)	0.00402236 N	0.00358376 N
SG Сила (Y) 10	0.930422 N	Достигнуто (IT = 290)	0.645605 N	1.09825 N
SG Сила (Z) 11	0.210889 N	Достигнуто (IT = 218)	0.155834 N	0.219786 N
SG Сила 8	0.954025 N	Достигнуто (IT = 289)	0.651241 N	1.12073 N
SG Среднее Динамическое давление 2	1151.96 Pa	Достигнуто (IT = 218)	2.29226 Pa	1152.39 Pa
SG Среднее Интенсивность турбулентности 7	1000 %	Достигнуто (IT = 218)	1e-05 %	1000 %
SG Среднее Скорость (X) 4	0.196554 m/s	Достигнуто (IT = 218)	1.96554e-09 m/s	0.196554 m/s
SG Среднее Скорость (Y) 5	-0.0631002 m/s	Достигнуто (IT = 218)	6.31002e-10 m/s	-0.0631002 m/s
SG Среднее Скорость (Z) 6	-1.53918 m/s	Достигнуто (IT = 218)	1.53918e-08 m/s	-1.53918 m/s
SG Среднее Скорость 3	38.7467 m/s	Достигнуто (IT = 218)	3.87467e-07 m/s	38.7467 m/s
SG Среднее Статическое давление 1	100999 Pa	Достигнуто (IT = 218)	170.715 Pa	101000 Pa

Имя цели	Единица измерения	Значение	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение
SG Среднее Статическое давление 1	[Pa]	100999.13	101000.20	100973.43	101032.66
SG Среднее Динамическое давление 2	[Pa]	1151.96	1152.39	1151.96	1152.76
SG Среднее Скорость 3	[m/s]	38.747	38.747	38.747	38.747
SG Среднее Скорость (X) 4	[m/s]	0.197	0.197	0.197	0.197
SG Среднее Скорость (Y) 5	[m/s]	-0.063	-0.063	-0.063	-0.063
SG Среднее Скорость (Z) 6	[m/s]	-1.539	-1.539	-1.539	-1.539
SG Среднее Интенсивность турбулентности 7	[%]	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
SG Сила 8	[N]	0.954	1.121	0.909	1.526
SG Сила (X) 9	[N]	0.002	0.004	0.002	0.005
SG Сила (Y) 10	[N]	0.930	1.098	0.883	1.509
SG Сила (Z) 11	[N]	0.211	0.220	0.193	0.254

Рисунок А1 – Лопасть 1

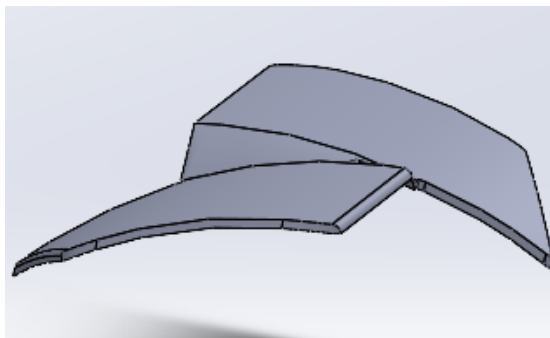


Текущая информация	
Параметр	Значение
Статус	Расчет завершен.
Все ячейки	1,174,857
Ячейки в текучей среде	1,174,857
Ячейки на границе раздела твердого тела с текучей сред...	79,059
Итерации	835
Последняя итерация завершилась	08:01:50
Процессорное время на последнюю итерацию	00:00:41
Продувки	4.00437
Итераций на 1 продувку	209
Процессорное время	8 : 42 : 53
Оставшееся время расчета	0 : 0 : 0
Запустить на	DESKTOP-HPENG18
Количество ядер	8

Список целей				
Имя	Текущее значение	Прогресс сходимости	Критерий	Среднее значение
SG Сила (Y) 7	0.437809 N	Достигнуто (IT = 222)	0.704023 N	0.632835 N
SG Сила 6	0.452481 N	Достигнуто (IT = 222)	0.706223 N	0.648918 N
SG Среднее Динамическое давление 2	1082.45 Pa	Достигнуто (IT = 212)	2.23049 Pa	1083.18 Pa
SG Среднее Скорость (Y) 4	0 m/s	Достигнуто (IT = 212)	0 m/s	0 m/s
SG Среднее Скорость 3	37.752 m/s	Достигнуто (IT = 212)	3.7752e-07 m/s	37.752 m/s
SG Среднее Статическое давление 1	101111 Pa	Достигнуто (IT = 212)	174.84 Pa	101110 Pa

Имя цели	Единица измерения	Значение	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение
SG Среднее Статическое давление 1	[Pa]	101111.32	101109.51	101074.99	101151.65
SG Среднее Динамическое давление 2	[Pa]	1082.45	1083.18	1082.34	1084.09
SG Среднее Скорость 3	[m/s]	37.752	37.752	37.752	37.752
SG Среднее Скорость (Y) 4	[m/s]	0	0	0	0
SG Среднерасх Интенсивность турбулентности 5	[%]	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
SG Сила 6	[N]	0.452	0.649	0.333	1.035
SG Сила (Y) 7	[N]	0.438	0.633	0.320	1.018

Рисунок А2 – Лопать 2

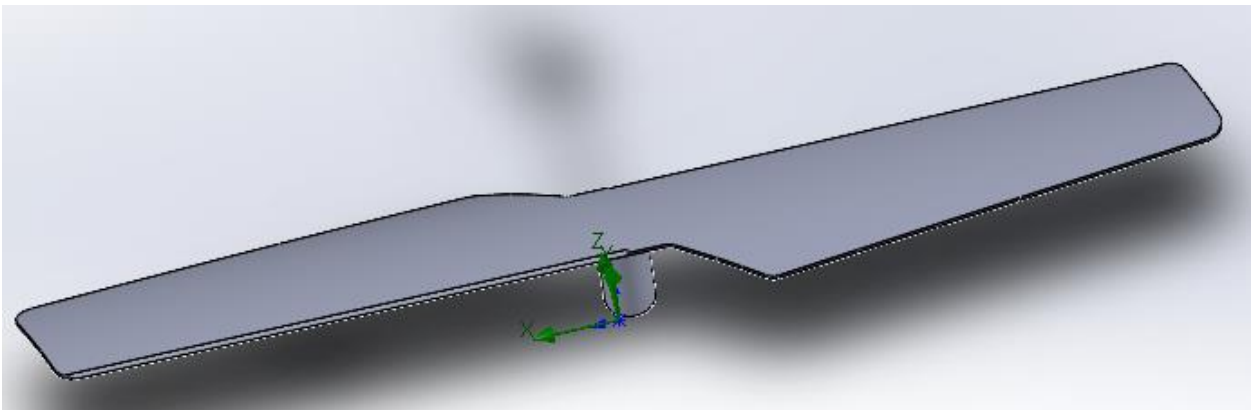


Параметр	Значение
Статус	Расчет завершен.
Все ячейки	1,236,470
Ячейки в текучей среде	1,236,470
Ячейки на границе раздела твердого тела с текучей сред...	101,869
Итерации	849
Последняя итерация завершилась	06:21:25
Процессорное время на последнюю итерацию	00:00:27
Продувки	4.00179
Итераций на 1 продувку	213
Процессорное время	6 : 52 : 11
Оставшееся время расчета	0 : 0 : 0
Запустить на	DESKTOP-HPENG18
Количество ядер	8

Список целей				
Имя	Текущее значение	Прогресс сходимости	Критерий	Среднее значение
SG Максимум Интенсивность турбулентности 9	1000 %	Достигнуто (IT = 164)	1e-05 %	1000 %
SG Минимум Интенсивность турбулентности 7	1000 %	Достигнуто (IT = 164)	1e-05 %	1000 %
SG Сила (X) 12	0.00306727 N	Достигнуто (IT = 306)	0.00432838 N	0.00456863 N
SG Сила (Y) 13	0.601056 N	Достигнуто (IT = 296)	0.553326 N	0.700348 N
SG Сила (Z) 14	0.231858 N	Достигнуто (IT = 164)	0.11196 N	0.249154 N
SG Сила 11	0.644232 N	Достигнуто (IT = 295)	0.558426 N	0.743902 N
SG Среднее Динамическое давление 2	1067.95 Pa	Достигнуто (IT = 169)	1.80523 Pa	1068.26 Pa
SG Среднее Интенсивность турбулентности 8	1000 %	Достигнуто (IT = 164)	1e-05 %	1000 %

Имя цели	Единица измерения	Значение	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение
SG Среднее Статическое давление 1	[Pa]	101028.32	101018.29	100988.31	101032.51
SG Среднее Динамическое давление 2	[Pa]	1067.95	1068.26	1067.95	1068.41
SG Среднее Скорость 3	[m/s]	37.364	37.364	37.364	37.364
SG Среднее Скорость (X) 4	[m/s]	0.458	0.458	0.458	0.458
SG Среднее Скорость (Y) 5	[m/s]	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053
SG Среднее Скорость (Z) 6	[m/s]	-1.293	-1.293	-1.293	-1.293
SG Минимум Интенсивность турбулентности 7	[%]	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
SG Среднее Интенсивность турбулентности 8	[%]	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
SG Максимум Интенсивность турбулентности 9	[%]	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
SG Среднерасх Интенсивность турбулентности 10	[%]	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
SG Сила 11	[N]	0.644	0.744	0.628	1.051
SG Сила (X) 12	[N]	0.003	0.005	0.003	0.007
SG Сила (Y) 13	[N]	0.601	0.700	0.584	1.018
SG Сила (Z) 14	[N]	0.232	0.249	0.232	0.289

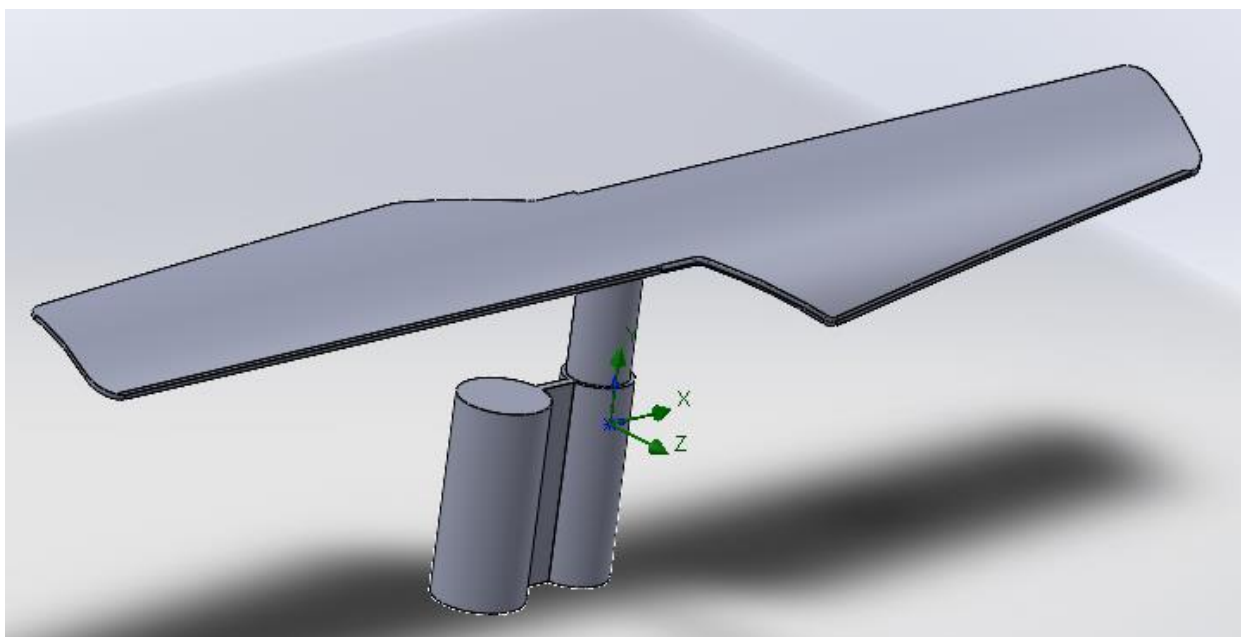
Рисунок А3 – Лопать 3



Список целей				
Имя	Текущее значение	Прогресс сходимости	Критерий	Среднее значение
SG Сила (Y) 7	1.64578 N	Достигнуто (IT = 388)	0.712344 N	1.35461 N
SG Сила 6	1.88508 N	Достигнуто (IT = 398)	0.387669 N	1.63184 N
SG Среднее Динамическое давление 2	1070.39 Pa	Достигнуто (IT = 280)	3.48695 Pa	1071.85 Pa
SG Среднее Интенсивность турбулентности 4	1000 %	Достигнуто (IT = 204)	1e-05 %	1000 %
SG Среднее Скорость 3	37.4925 m/s	Достигнуто (IT = 204)	3.74925e-07 m/s	37.4925 m/s
SG Среднее Статическое давление 1	101153 Pa	Достигнуто (IT = 218)	349.462 Pa	101197 Pa

Имя цели	Единица измерения	Значение	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение
SG Среднее Статическое давление 1	[Pa]	101152.63	101196.89	101055.93	101446.10
SG Среднее Динамическое давление 2	[Pa]	1070.39	1071.85	1069.16	1075.65
SG Среднее Скорость 3	[m/s]	37.493	37.493	37.493	37.493
SG Среднее Интенсивность турбулентности 4	[%]	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
SG Среднераск Интенсивность турбулентности 5	[%]	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
SG Сила 6	[N]	1.885	1.632	0.809	2.172
SG Сила (Y) 7	[N]	1.646	1.355	0.189	1.959

Рисунок А4 – Лопать 4



Список целей				
Имя	Текущее значение	Прогресс сходимости	Критерий	Среднее значение
SG Сила (Y) 5	2.34502 N	Достигнуто (IT = 396)	0.641018 N	2.20181 N
SG Среднее Динамическое давление 2	1050.11 Pa	Достигнуто (IT = 384)	3.0743 Pa	1050.79 Pa
SG Среднее Интенсивность турбулентности 4	1000 %	Достигнуто (IT = 193)	1e-05 %	1000 %
SG Среднее Скорость 3	37.1675 m/s	Достигнуто (IT = 193)	3.71675e-07 m/s	37.1675 m/s
SG Среднее Статическое давление 1	101063 Pa	Достигнуто (IT = 213)	293.143 Pa	101089 Pa

Имя цели	Единица измер	Значение	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Выполнение процесса [%]	Использовать в сходимости
SG Среднее Статическое давление 1	[Pa]	101062.90	101089.42	101027.95	101159.91	100	Да
SG Среднее Динамическое давление 2	[Pa]	1050.11	1050.79	1050.04	1051.52	100	Да
SG Среднее Скорость 3	[m/s]	37.167	37.167	37.167	37.167	100	Да
SG Среднее Интенсивность турбулентности 4	[%]	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	100	Да
SG Сила (Y) 5	[N]	2.345	2.202	1.842	2.472	100	Да

Рисунок А5 – Лопать 5

Приложение В

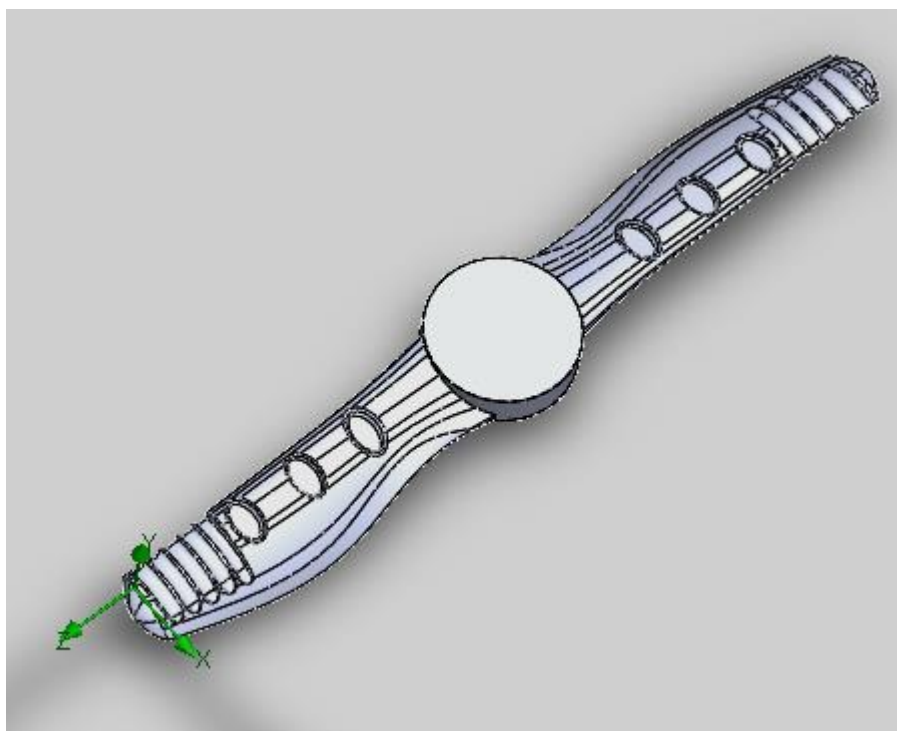


Рисунок В1 – Видоизменённая лопасть

Имя	Текущее значение	Прогресс сходимости	Критерий	Среднее значение
GG Сила (X) 6	0.0141803 N	Достигнуто (IT = 271)	0.0132092 N	0.0144841 N
GG Сила (Y) 7	23.8905 N	Достигнуто (IT = 409)	2.81726 N	23.8724 N
GG Сила (Z) 8	-0.000227489 N	Достигнуто (IT = 352)	0.00216724 N	-0.000935942 N
GG Сила 5	23.8905 N	Достигнуто (IT = 409)	2.81726 N	23.8724 N
GG Среднерасх Интенсивность турбулентности 9	151.029 %	Достигнуто (IT = 701)	8.60229 %	148.489 %

Параметр	Значение
Статус	Расчет завершен.
Все ячейки	1,653,311
Ячейки в текущей среде	1,653,311
Ячейки на границе раздела т...	17,246
Итерации	701
Последняя итерация заверш...	05:56:44
Процессорное время на пос...	00:00:52
Продувки	3.0216
Итераций на 1 продувку	232
Процессорное время	3 : 58 : 56
Оставшееся время расчета	0 : 0 : 0
Запустить на	DESKTOP-89SKG62
Количество ядер	8
Предупреждение	Комментарий
Нет предупреждений	

Рисунок В2 – Результат расчёта

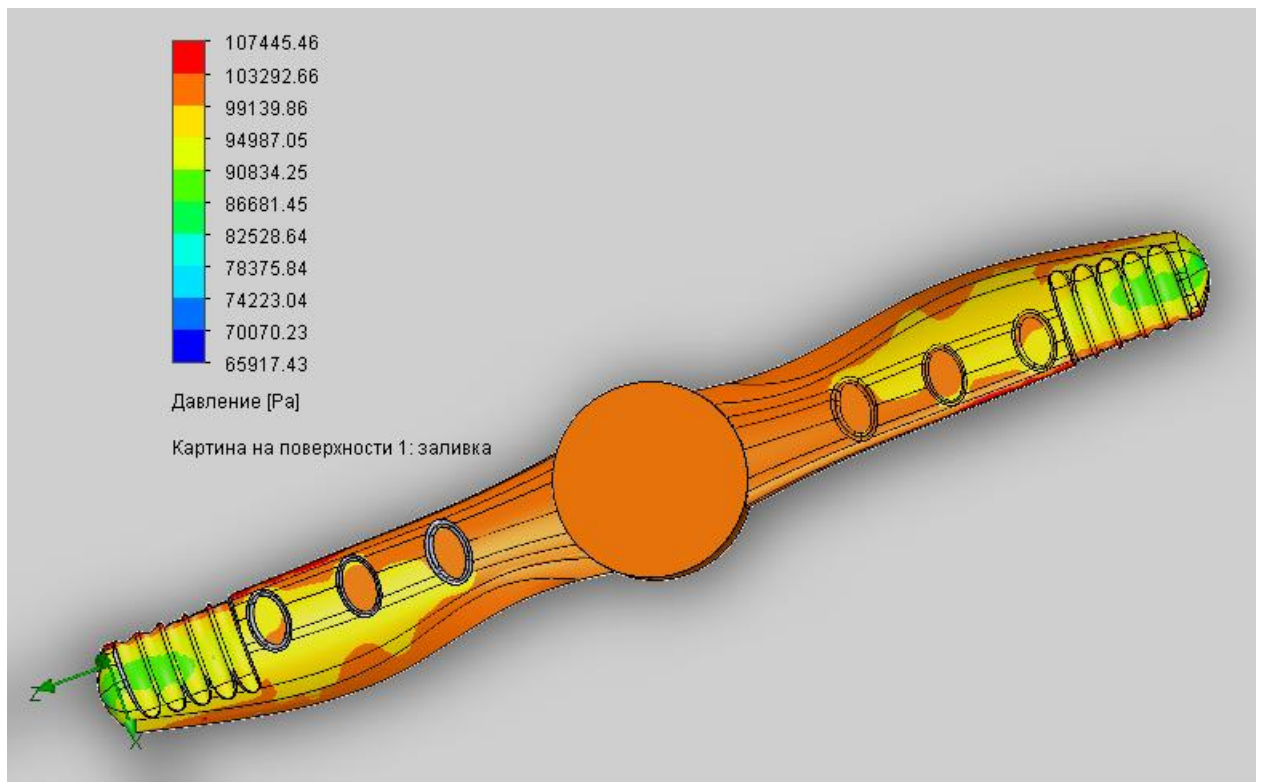


Рисунок В3 – Картина на поверхности лопасти по параметру – давление

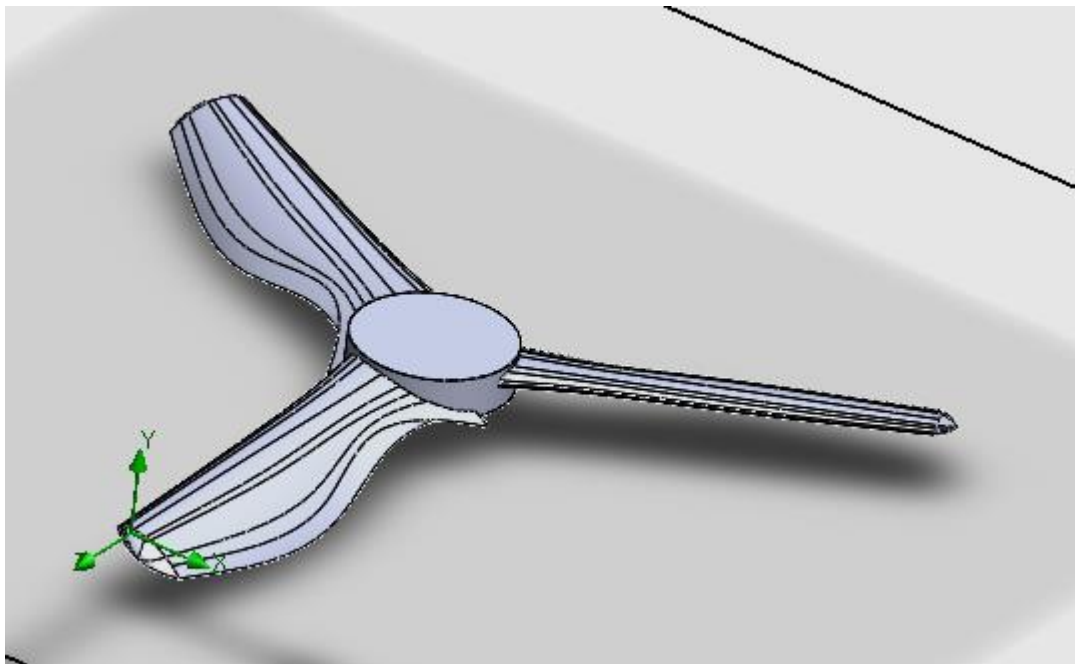


Рисунок В4 – Вид лопасти

Параметр	Значение
Статус	Расчет завершен.
Все ячейки	1,463,689
Ячейки в текущей среде	1,463,689
Ячейки на границе раздела т...	18,653
Итерации	293
Последняя итерация заверш...	02:31:52
Процессорное время на пос...	00:00:15
Продувки	1.31339
Итераций на 1 продувку	224
Процессорное время	1 : 22 : 4
Оставшееся время расчета	0 : 0 : 0
Запустить на	DESKTOP-89SKG62
Количество ядер	8

Предупреждение	Комментарий
Нет предупреждений	

Имя	Текущее значение	Прогресс сходимости	Критерий	Среднее значение
GG Сила (X) 2	0.176185 N	Достигнуто (IT = 274)	0.0512761 N	0.117851 N
GG Сила (Y) 3	33.1747 N	Достигнуто (IT = 293)	4.82081 N	28.2278 N
GG Сила (Z) 4	-0.00868972 N	Достигнуто (IT = 239)	0.0675594 N	0.0287437 N
GG Сила 1	33.1752 N	Достигнуто (IT = 293)	4.82085 N	28.2281 N

Рисунок В5 – Результат расчёта

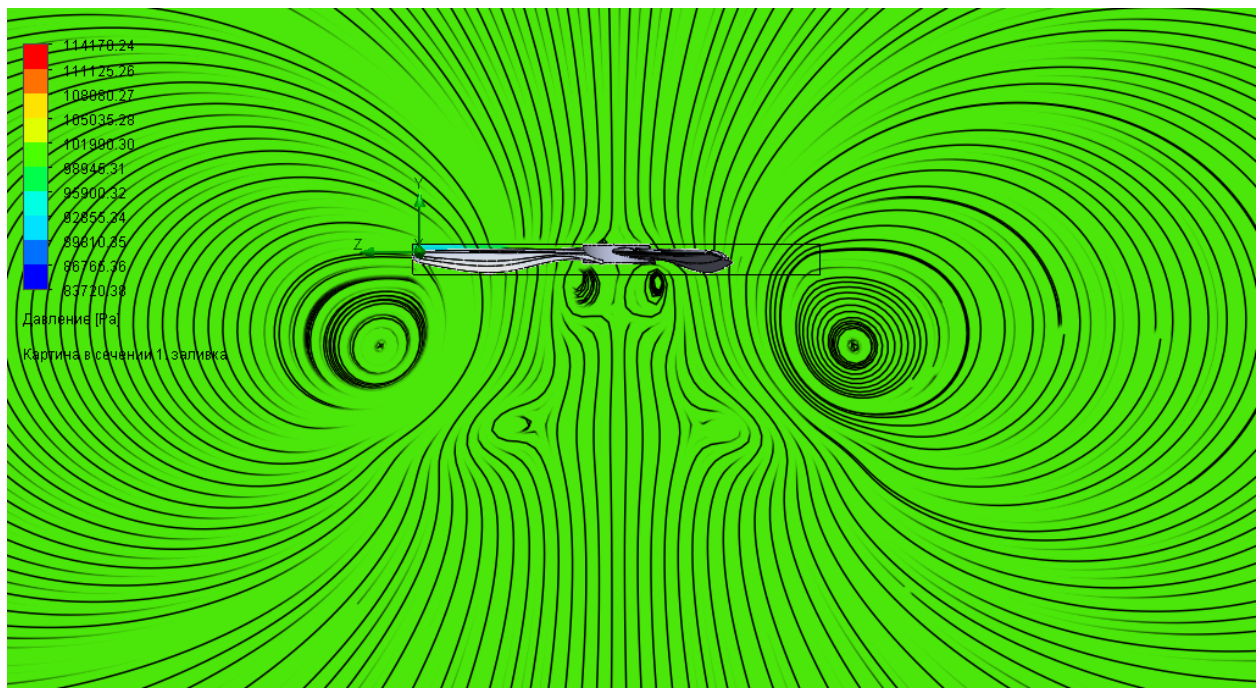


Рисунок В6 – Области давления

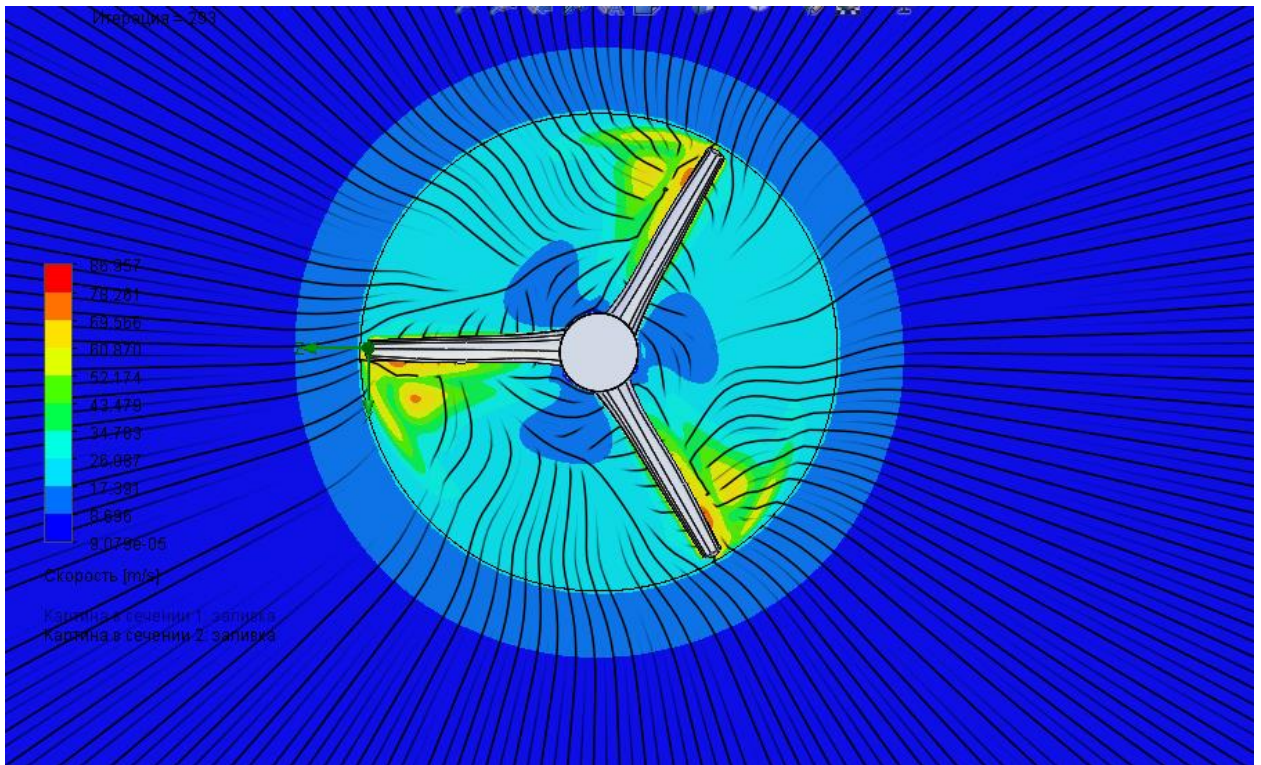


Рисунок В7 – Области показывающие границы скорости потоков воздуха

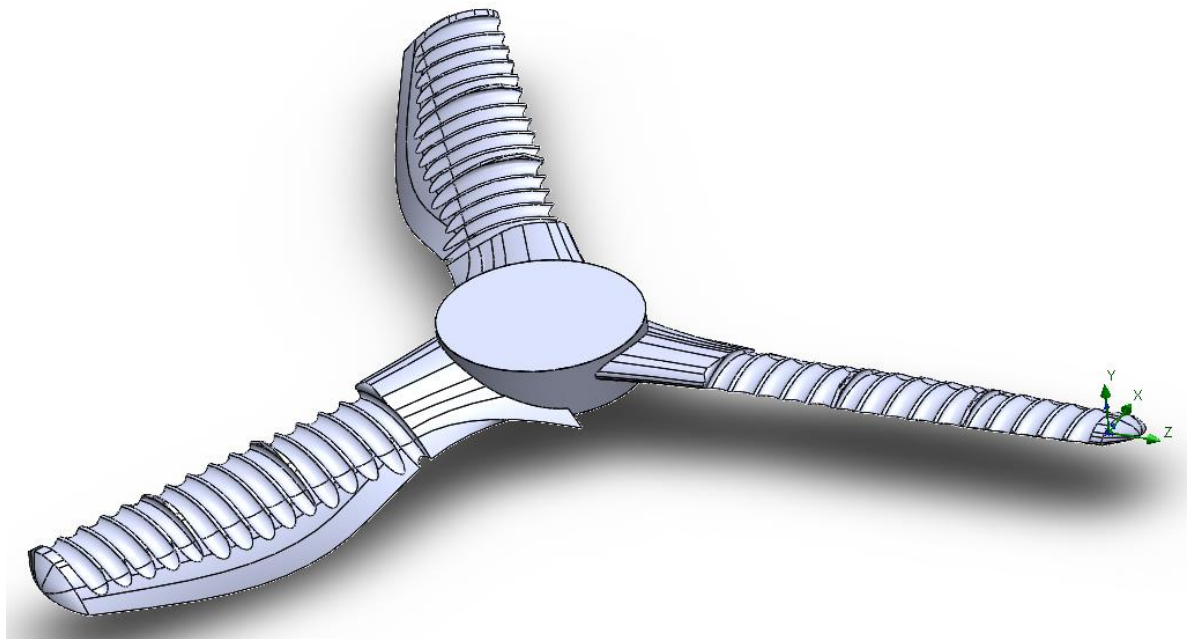


Рисунок В8 – Вид лопасти

Имя	Текущее значение	Прогресс сходимости	Критерий	Среднее значение
GG Максимум Интенсивность турбулентности 3	1000 %	Достигнуто (IT = 224)	1e-05 %	1000 %
GG Минимум Интенсивность турбулентности 1	6.30668e-06 %	Достигнуто (IT = 827)	0.000113671 %	4.71322e-05 %
GG Момент (X) 9	5.06753 N*m	Достигнуто (IT = 335)	0.559755 N*m	5.1248 N*m
GG Момент (Y) 10	1.52012 N*m	Достигнуто (IT = 299)	0.130304 N*m	1.52433 N*m
GG Момент (Z) 11	0.132108 N*m	Достигнуто (IT = 475)	0.0093898 N*m	0.132476 N*m
GG Сила (X) 6	0.143966 N	Достигнуто (IT = 413)	0.0268482 N	0.141791 N
GG Сила (Y) 7	37.8877 N	Достигнуто (IT = 335)	4.16954 N	38.3106 N
GG Сила (Z) 8	0.0125278 N	Достигнуто (IT = 234)	0.0473536 N	0.0114897 N
GG Сила 5	37.888 N	Достигнуто (IT = 335)	4.16959 N	38.3109 N
GG Среднее Интенсивность турбулентности 2	170.661 %	Достигнуто (IT = 759)	6.99232 %	173.349 %
GG Среднераск Интенсивность турбулентности 4	170.337 %	Достигнуто (IT = 760)	6.9992 %	172.945 %

Текущая информация | Список целей

Расчет завершен. Итерации : 827

Параметр	Значение
Статус	Расчет завершен.
Все ячейки	1,466,795
Ячейки в текучей среде	1,466,795
Ячейки на границе раздела твердог...	18,700
Итерации	827
Последняя итерация завершилась	04:00:26
Процессорное время на последно...	00:00:17
Продувки	3,70678
Итераций на 1 продувку	224
Процессорное время	3 : 45 : 31
Оставшееся время расчета	0 : 0 : 0
Запустить на	DESKTOP-HPRENG18

Предупреждение	Комментарий
Нет предупреждений	

Рисунок В9 – Результат расчёта

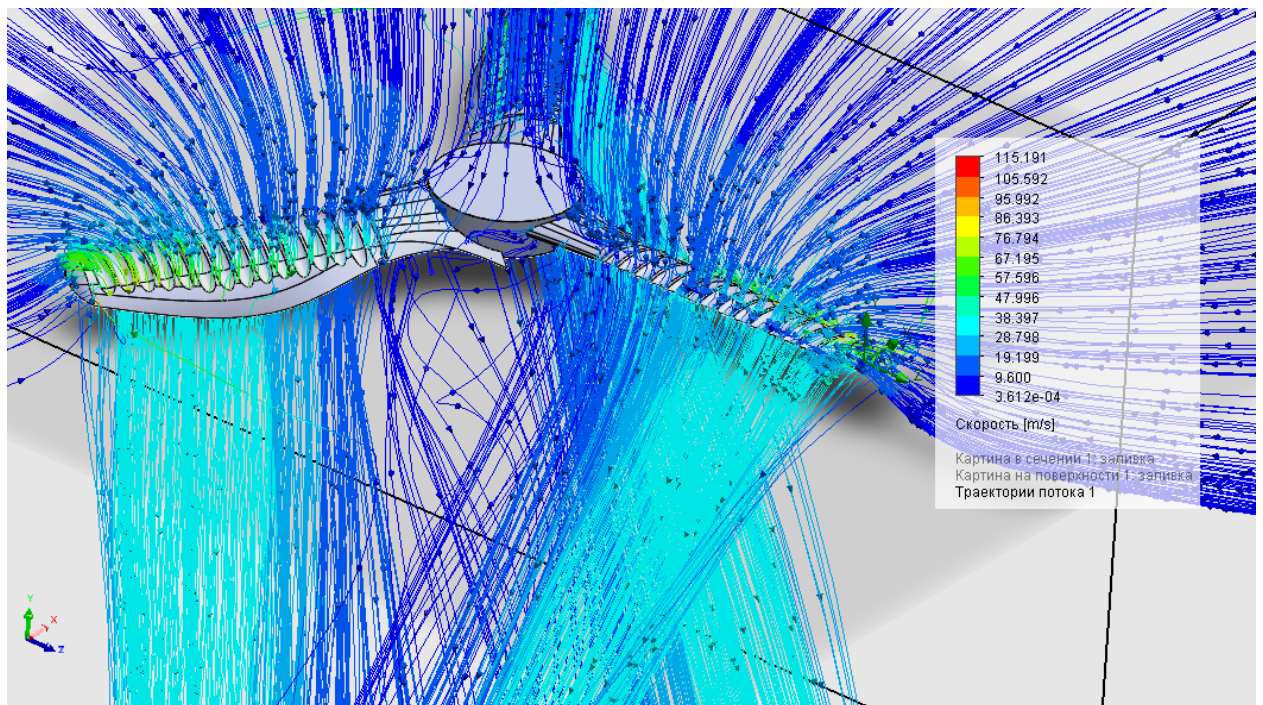


Рисунок В10 – Траекторий потока (цветовой окрас по параметру скорость)

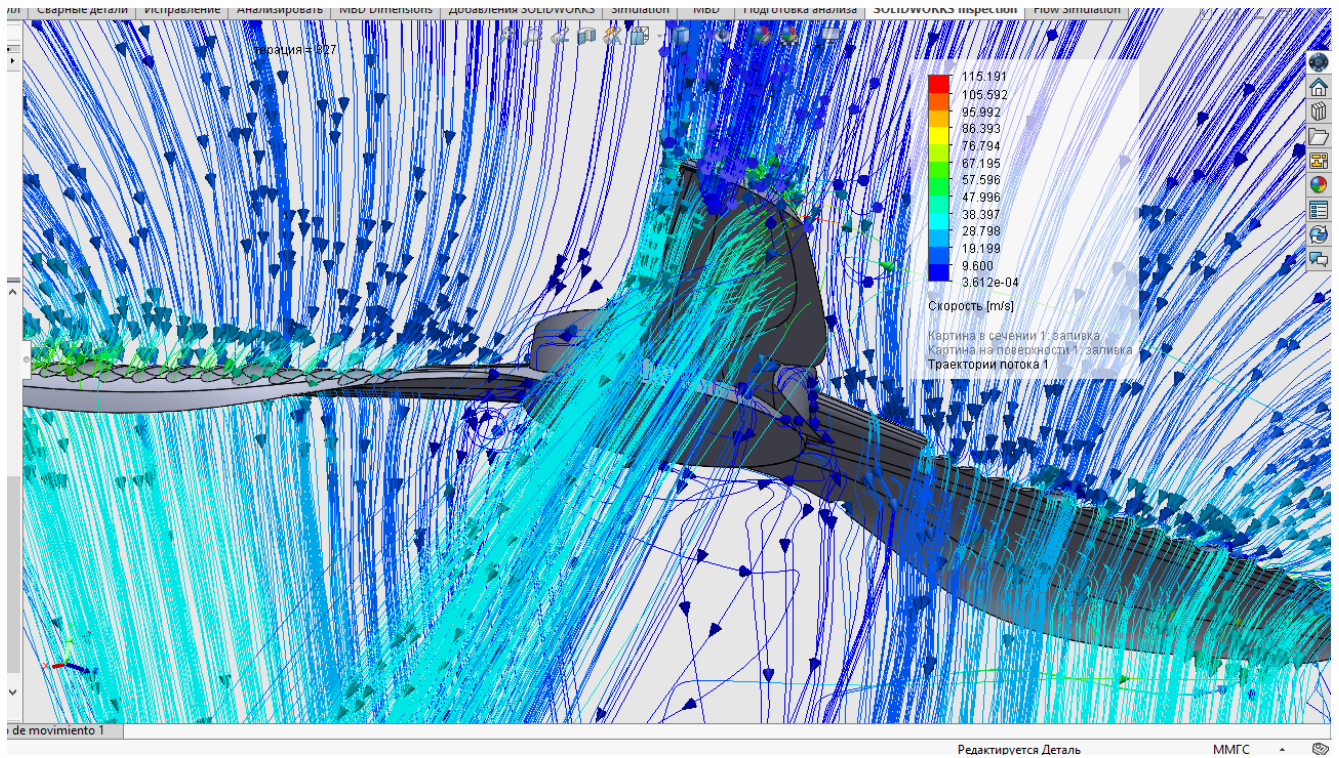


Рисунок В11 – Траекторий потока (изометрически, вид снизу)

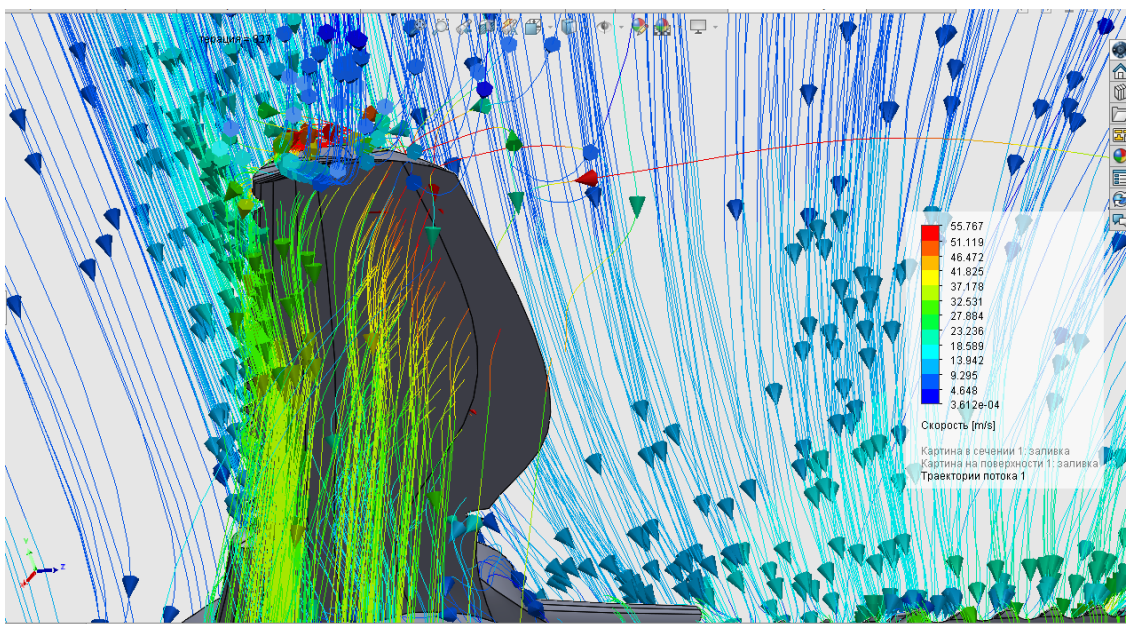


Рисунок В12 – Траекторий потока (внимание на за концевку лопасти)

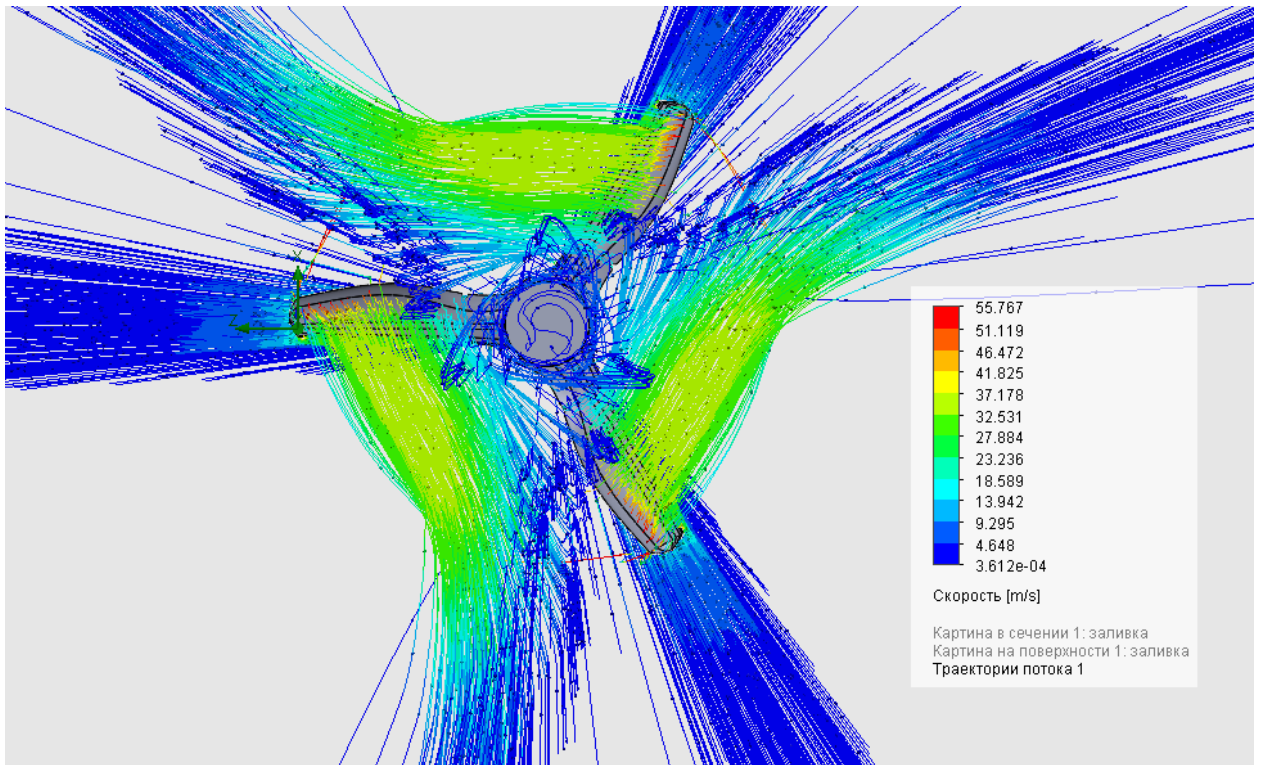


Рисунок В13 – Траекторий потока (вид с низу)

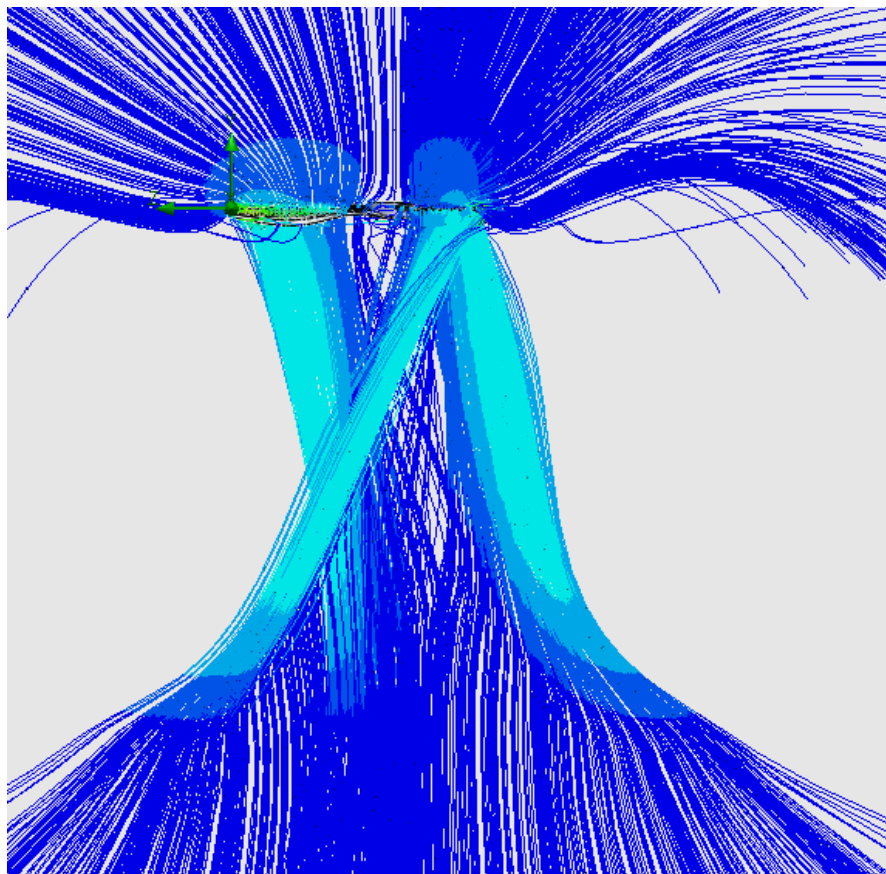


Рисунок В14 – Картина траекторий потока (вид сбоку)

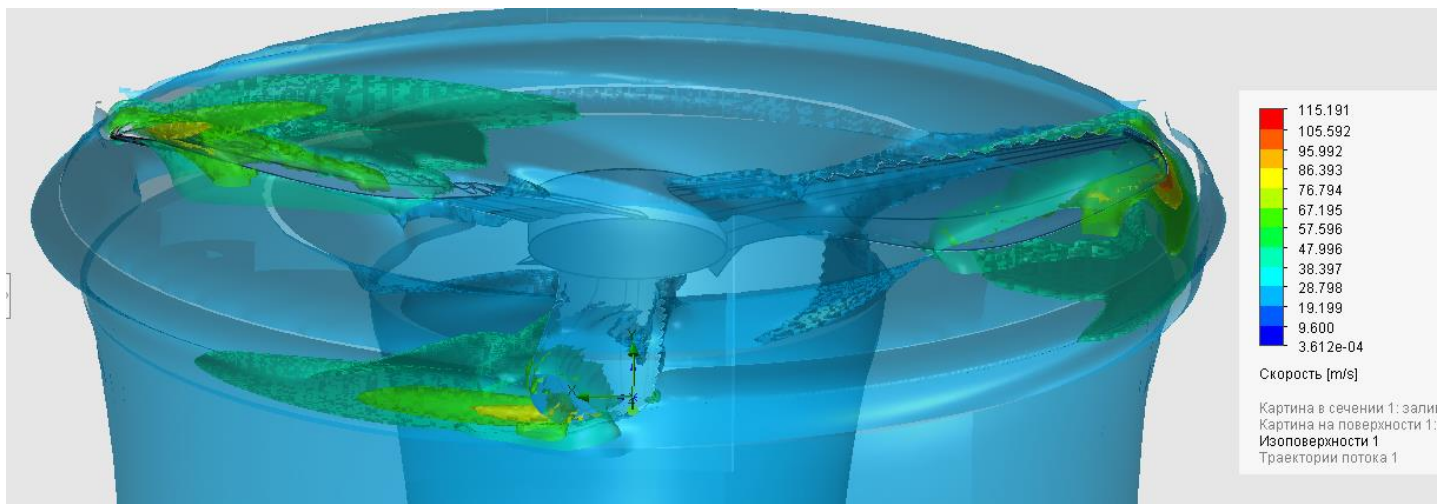


Рисунок В15 – Изоповерхности по скорости

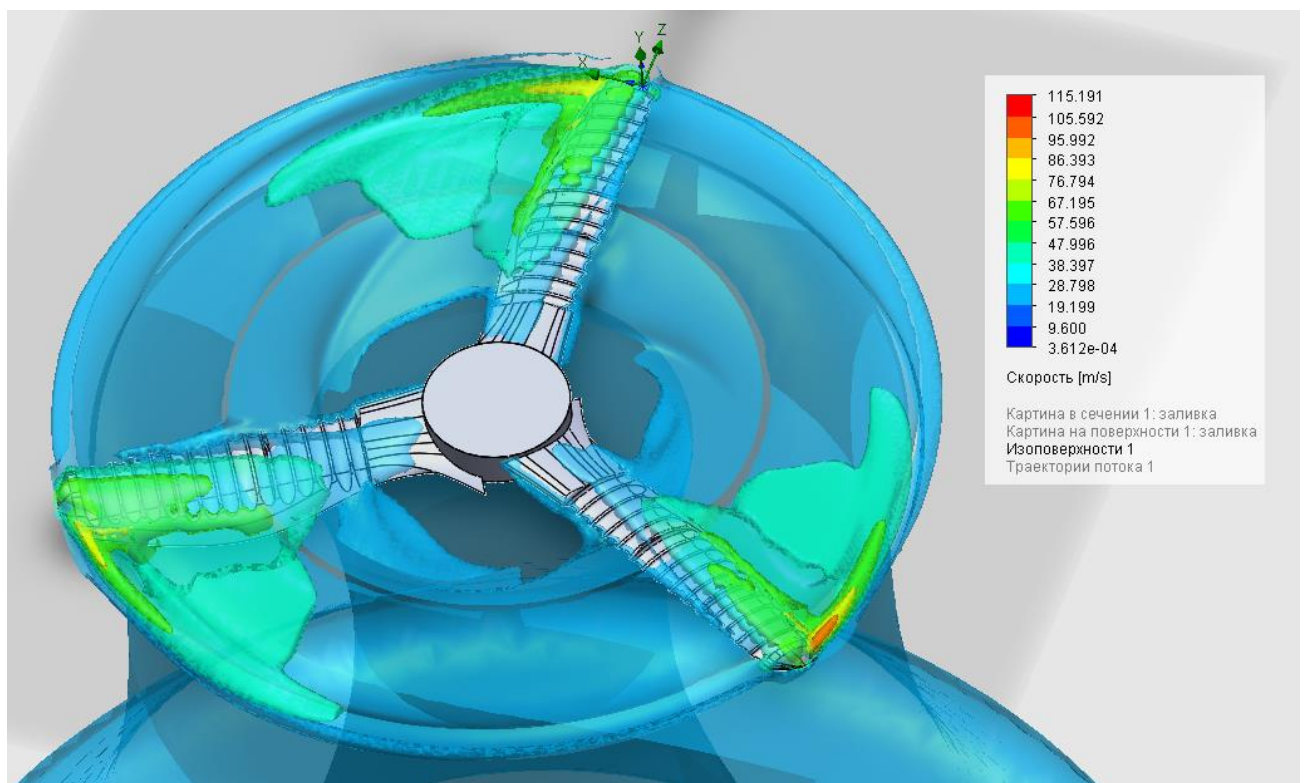


Рисунок В16 – Изоповерхности