**«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**

**(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»)**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Факультет |  | И |  | Информационные и управляющие системы |
|  |  | шифр |  | наименование |
| Кафедра |  | И1 |  | Лазерная техника |
|  |  | шифр |  | наименование |
| Дисциплина |  | Основы конструиров. оптико-электронных и лазерных приборов | | |

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

на тему

|  |
| --- |
| Проектирование аппаратуры для исследования |
| жидкофазных дисперсий |
|  |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнил студент группы | | | |  | | И141 |
| Джгамадзе Г.Т. | | | | | | |
| Фамилия И.О. | | | | | | |
| **РУКОВОДИТЕЛЬ** | | | | | | |
| Ивакин С.В. | |  |  | | | |
| Фамилия И.О. Подпись | | | | | | |
| Оценка |  | | | |  | |
| «\_\_\_\_\_» |  | | | | 20\_\_\_\_ г. | |

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2018г.

**Реферат**

Цель работы: проектирование научной аппаратуры для исследования жидкофазной дисперсии в условиях микрогравитации при изменении температуры.

В курсовом проекте приводится подробное описание изделия, составных частей, а также расчётов, подтверждающих работоспособность проектируемой аппаратуры.

Работа состоит из 4 глав:

1. Описание принципа действия изделия – указаны составные части изделия, их взаимосвязь и условия эксплуатации
2. Описание конструкции изделия – указаны способы крепления составных частей и обоснование выбранной оптической схемы
3. Обоснование элементов выбранной конструкции – указаны подобранные компоненты изделия и критерии их выбора
4. Расчетная часть – включает расчет надёжности, тепловой расчет и модальный анализ

Курсовой проект: 39 стр., 23 рис., 11 табл., 3 приложения, 11 источников литературы.

Оглавление

[Введение 4](#_Toc511264652)

[Глава 1 Описание принципа действия изделия 5](#_Toc511264653)

[Глава 2 Описание конструкции изделия 8](#_Toc511264654)

[Глава 3 Обоснование выбора элементов конструкции 11](#_Toc511264655)

[Глава 4 Расчетная часть 20](#_Toc511264656)

[4.1 Параметрическая надежность 20](#_Toc511264657)

[4.2 Тепловой расчет 24](#_Toc511264658)

[4.3 Модальный анализ корпуса 29](#_Toc511264659)

[Заключение 32](#_Toc511264660)

[Список использованных источников 33](#_Toc511264661)

[Приложение А. Схема комбинированная функциональная 34](#_Toc511264662)

[Приложение Б. Чертеж общего вида 36](#_Toc511264663)

[Приложение В. Схема деления 38](#_Toc511264664)

# Введение

С научно-образовательной точки зрения, проведения космических экспериментов является важной частью изучения физических явлений в космосе. Одним из таких экспериментов является исследование жидкофазной дисперсии в условиях микрогравитации при изменении температуры.

Основанием выполнения курсового проекта является техническое задание на составную часть опытно-конструкторской работы (СЧ ОКР).

Целью СЧ ОКР является проектирование научной аппаратуры для исследования жидкофазной дисперсии в условиях микрогарвицтации при изменении температуры.

Задачами СЧ ОКР являются:

* Выбор и обоснование оптической схемы изделия
* Выбор и обоснование компонентов изделия

Для подтверждения работоспособности изделия выполнены расчёты:

* Расчёт надежности
* Тепловой расчёт
* Модальный анализ

# Глава 1 Описание принципа действия изделия

Научная аппаратура включает в себя следующие составные части:

* Кюветодержатель с кюветами – предназначен для размещения, транспортирования и хранения кювет с исследуемыми дисперсиями (количество кювет – 10 штук).
* Моноблок – предназначен для контролирования космонавтом хода проведения эксперимента.

Моноблок состоит из нескольких блоков и модулей, указанных в блок-схеме (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Блок-схема моноблока

Корпус – предназначен для размещения и крепления всех элементов необходимых для проведения эксперимента

Блок видеофиксации – предназначен для фиксации результатов проведения эксперимента.

Блок подсветки – предназначен для подсветки исследуемой жидкофазной дисперсии.

Блок нагревателей – предназначен для нагрева исследуемых дисперсий в кюветах.

Система управления и сбора данных – предназначена для обеспечения работы научной аппаратуры в реальном времени, систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об эксперименте.

Система управление и сбора данных включает в себя:

* Модуль питания – предназначен для осуществления электропитания СЧ изделия.
* Модуль управления силовой – предназначен для распределения нагрузки по СЧ системы.
* Монитор оператора – предназначен для управления и контроля за ходом проведения эксперимента.
* Модуль управления и сбора данных – предназначен для управления параметрами лазерного источника и видеокамеры, обработки полученных видеоизображений, представления результатов оператору, сбора и хранения данных.
* Устройство хранения информации – предназначено для хранения полученных данных эксперимента.

Для проведения эксперимента на РС МКС космонавту необходимо достать кювету с исследуемой дисперсией из кюветодержателя и поместить её в моноблок. Запуск работы научной аппаратуры осуществляется при помощи системы управления (через монитор оператора). После запуска одновременно происходит нагрев кюветы резистивным нагревателем и фиксация происходящих процессов при помощи видеокамеры. Поскольку исследуемая кювета находится в темном пространстве её необходимо подсветить. В качестве источника подсветки используется полупроводниковый лазер с волоконно-оптическим выходом. Перед освещением кюветы излучение лазера коллимируется с целью увеличения диаметра лазерного пучка. В кювете происходит рассевание излучения на частицах, которое и визуализируется видеокамерой. Снятые данные записываются в устройство хранения информации – флэш-память. Также возможно наблюдение процессов эксперимента в режиме реального времени через монитор. Управление и сбор данных осуществляется планшетным компьютером, входящим в состав моноблока.

Процессы, протекающие в научной аппаратуре, показаны в приложении А – Схема комбинированная функциональная.

# Глава 2 Описание конструкции изделия

Корпус моноблока представляет собой отдельные листы из сплава Д16Т, который имеет высокую прочность и относительную легкость. Каждый лист крепится к алюминиевому каркасу при помощи винтового соединения, что увеличивает жесткость конструкции [1]. С этой же целью на стенках корпуса выполнены специальные вырезы – выборки. В корпусе предусмотрены отверстия для механической вентиляции. На внешних стенках корпуса нанесено специальное покрытие, необходимое для повышения степени черноты поверхности, приводящее к интенсификации лучистого теплообмена. Масса корпуса составляет 2,8 кг. Габаритные размеры: 280х250х139 мм. Толщина стенок, дна и крышки – 5 мм. На дно прикреплена текстильная застежка, предназначенная для транспортировки и эксплуатации.

Блок видеофиксации представляет собой камеру и объектив. Камера при помощи специального уголкового держателя устанавливается на дне корпуса. Объектив крепится непосредственно к камере.

Расположение блока видеофиксации изделия определяет размещение оставшихся частей конструкции и выбирается вследствие ряда факторов:

* Вида дисперсной системы
* Типа рассеянного излучения

В качестве дисперсной системы рассматривается истинный раствор, размеры частиц которого не превышают 1 нм. На небольших по величине частицах происходит рэлеевское рассеяние света. Известно, что свет, поляризованный перпендикулярно плоскости рассеяния, рассеивается равномерно по всем направлениям, а свет, поляризованный в плоскости рассеяния, рассеивается анизотропно [2]. Вследствие этого индикатриса рассеяния принимает вид, изображенный на рисунке 2.

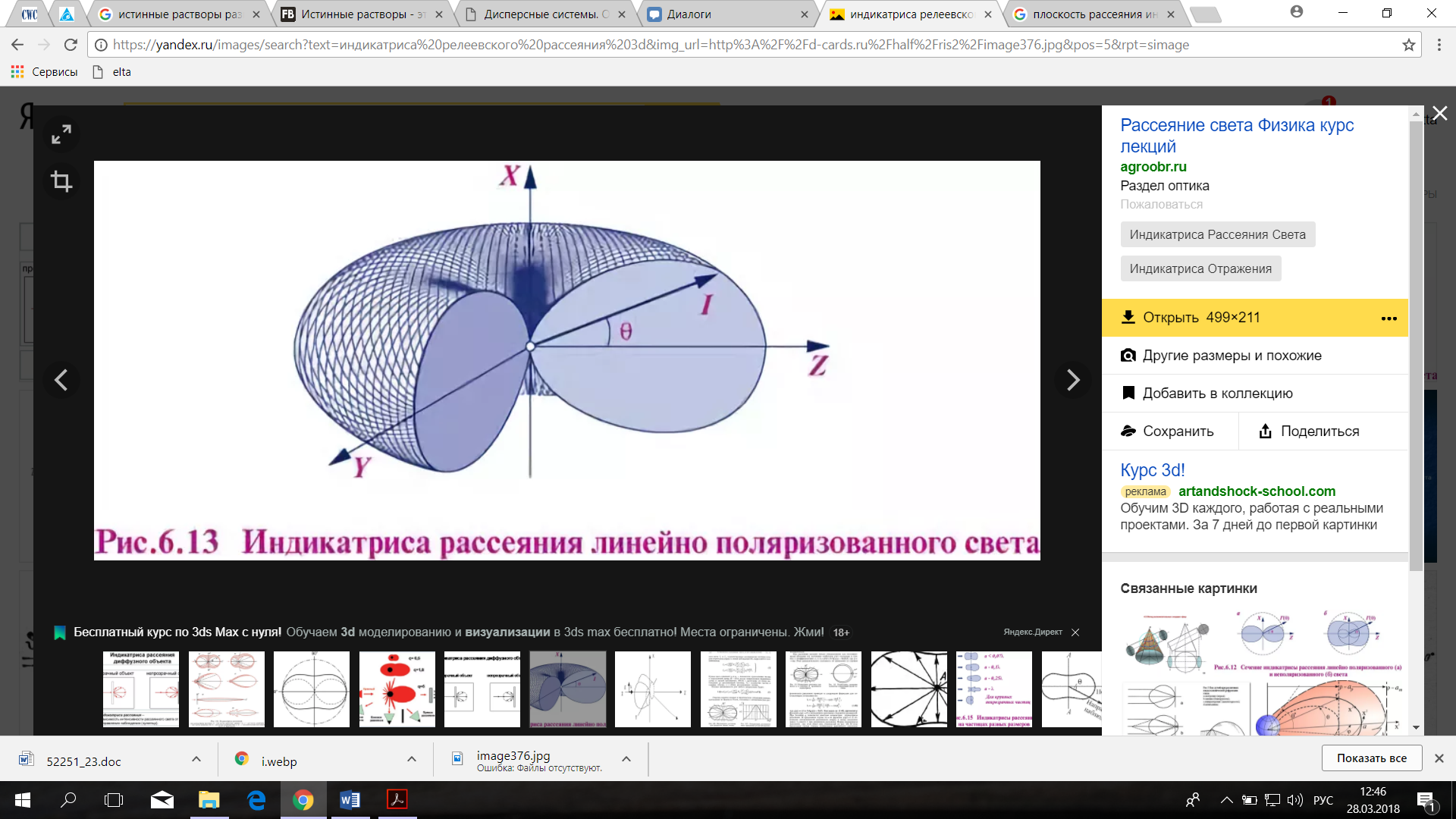


Рисунок 2 – Индикатриса рассевания линейно-поляризованного света

Поэтому положение блока видеофиксации соответствует положению наибольшего наблюдения, а остальные компоненты моноблока размещены рациональным образом (приложение Б – Чертеж общего вида).

Блок подсветки представляет собой полупроводниковый излучатель (диод лазерный), катушку с волокном и коллиматор. Лазерный диод установлен на стандартных стойках; катушка крепится винтом непосредственно ко дну корпуса; коллиматор устанавливается на специальное V-образное крепление.

Блок нагревателей представляет собой тонкопленочный резистивный нагреватель, расположенный под кюветой. Он приклеивается ко дну держателя кюветы, установленного в корпусе.

Система управления и сбора данных представляет собой блок питания, модуль управления силовой, планшетный компьютер, устройство хранения информации. Блок питания устанавливается на дне корпуса; планшетный компьютер крепится к крышке корпуса; модуль управления силовой устанавливается на стандартных стойках к боковой стенке корпуса; устройство хранения информации размещается в вспененном полиэтилене в специально разработанную конструкцию. Доступ к устройству хранения информации осуществляется через дверцу, открывающуюся на 110˚.

Кювета, заполненная жидкофазной дисперсией, изготовлена из кварцевого стекла. Кварцевая кювета, в отличие от стеклянной, инертна к химическим соединениям, обладает более высокой прозрачностью, а также стойкостью к вибрации. Габаритные размеры: 45х12,5х12,5 мм. Толщина дна: 1,5 мм. Кювета ставиться в специальный держатель (крепление) и сверху закрывается тонкой металлической крышкой. Держатель устанавливается на платформе, выдвигающейся на 70 мм по направляющим, для которых предусмотрены доводчики. Выдвижная платформа используется с целью увеличения удобства эксплуатации изделия.

Кюветодержатель изготовлен из сплава алюминия Д16Т. Представляет собой ящик для хранения кювет. Ящик изнутри заполнен поролоном, в котором располагаются кюветы с дисперсией. Крышка кюветодержателя съемная, крепится к ящику при помощи винтового соединения. Масса кюветодержателя, с учетом кювет: 1,1 кг. Габаритные размеры: 200,5х120х25,5 мм. На дно прикреплена текстильная застежка, предназначенная для транспортировки и эксплуатации.

Общий вид изделия показан на рисунках 3, 4, 5, 6.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рисунок 3 – Моноблок снаружи | Рисунок 4 – Моноблок изнутри |
|  |  |
| Рисунок 5 – Кюветодержатель с кюветами снаружи | Рисунок 6 – Кюветодержатель с кюветами изнутри |

# Глава 3 Обоснование выбора элементов конструкции

Составные части изделия представлены в приложении В – Схема деления.

Основной задачей эксперимента является видеофиксация процессов кластеризации, поэтому важным является правильный выбор видеокамеры. Выбор камеры осуществляется по следующим параметрам:

* Чувствительность матрицы
* Разрешение
* Динамический диапазон
* Квантовая эффективность

После проведения предварительного обзора видеокамер была выбрана камера Proto CS2100M-USB компании Thorlabs, которая имеет высокую чувствительность, Full HD разрешение, широкий динамический диапазон, и достаточное значение квантовой эффективности на длине волны 800 нм (Таблица 1).

Таблица 1 – Технические характеристики камеры

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование параметра | Величина |
| Разрешение матрицы | 1920 х 1080 |
| Тип матрицы | Монохромная, sCMOS, 2/3” |
| Размер матрицы | 9,6768 мм × 5,4432 мм |
| Размер пикселя | 5,04 мкм х 5,04 мкм |
| Квантовая эффективность | 33 % при длине волны 800 нм |
| Время экспозиции | 0,029 мс – 7767,2 мс |
| Темновой шум | СКО < 1,5 е |
| Полная емкость пикселя | ≥23 000 е |
| Потребляемая мощность | 4,3 Вт |
| Габаритные размеры | 70,6x60,3х47,6 мм |
| Масса | 0,26 кг |

Для выбранной камеры необходимо подобрать объектив, выбор которого осуществляется по таким параметрам, как угол обзора и фокусное расстояние.

Выбран объектив MVL25ТМ23 компании Thorlabs, минимальная дистанция фокусировки которого составляет 100 мм (Таблица 2). Формат объектива соответствует формату матрицы камеры, следовательно, не возникает виньетирования или обрезки изображения.

Таблица 2 – Технические характеристики объектива

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование параметра | Величина |
| Фокусное расстояние | 25 мм |
| Минимальная дистанция фокусировки | 100 мм |
| Диагональное поле обзора | 24,9˚ |
| Рабочий температурный диапазон | От -10 до +50 |
| Габаритные размеры | D33х51,2 мм |
| Масса | 0,095 кг |

Определение расстояния от камеры до предмета:

Зная фокусное расстояние объектива, размеры матрицы и зоны наблюдения, расстояние до предмета можно вычислить по формулам:

, ,

где *f* – фокусное расстояние, *v* – вертикальный размер матрицы, *h* – горизонтальный размер матрицы, *V* – вертикальный размер объекта, *H* – горизонтальный размер объекта.

Получим:

Отсюда, выбранное расстояние от видеокамеры (матрицы) до объекта составляет 110 мм.

Таким образом, блок видеофиксации представляет собой видеокамеру Proto CS2100M-USB и объектив MVL25ТМ23, производства Thorlabs.

Для распознавания камерой частиц необходимо подсветить кювету. Для этой цели используется лазерный излучатель. Длина волны излучения подбирается с учетом квантовой эффективности видеокамеры, а мощность лазера – расчета засветки камеры.

Расчет засветки камеры:

Максимальное количество падающих электронов на матрицу n при известном разрешении A и полной емкости пикселя B вычисляет по формуле:

Через квантовую эффективность QE определяется максимальное количество падающих фотонов N:

Энергия одного фотона Е на длине волны 800 нм равна:

Отсюда, полная энергия падающих фотонов Епол.:

Максимальную мощность W, которую может принять матрица за время экспозиции T, вычисляется:

Следовательно, мощность лазера не должна превышать несколько десятков мВт.

После расчета был выбран полупроводниковый лазерный излучатель FPL-810-14BF, изготовленный ЗАО «НОЛАТЕХ» (Таблица 3).

Таблица 3 – Технические характеристики лазерного диода

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование параметра | Величина |
| Длина волны излучения, нм | 800 |
| Выходная мощность, мВт | 40 |
| Излучаемая мода | одномодовый |
| Ширина спектра, нм, не более | 3 |
| Режим работы | Непрерывный/импульсный |
| Диапазон рабочих температур,˚C | от -40 до +70 |
| Диапазон температур транспортировки и хранения,˚C | от -40 до +85 |
| Габаритные размеры, мм | 30х44х10,5 (ДхШхВ) |
| Потребляемая мощность, мВт | 72 |

Для подсветки кюветы следует увеличить диаметр пучка лазерного излучателя. Для этой цели используется коллиматор F810APC-842 компании Thorlabs (Таблица 4).

Таблица 4 – Технические характеристики коллиматора

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование параметра | Величина |
| Числовая апертура | 0,25 |
| Фокусное расстояние, мм | 36,18 |
| Диаметра луча на выходе, мм | 7,8 |
| Расходимость, град. | 0,008 |

Расчет диаметра выходного пучка:

Так как числовая апертура волокна не соответствует числовой апертуре коллиматора, то необходимо рассчитать диаметр выходного пучка.

По определению числовая апертура NA=sin α, где α, в нашем случае, представляет собой полный угол (Рисунок 7)

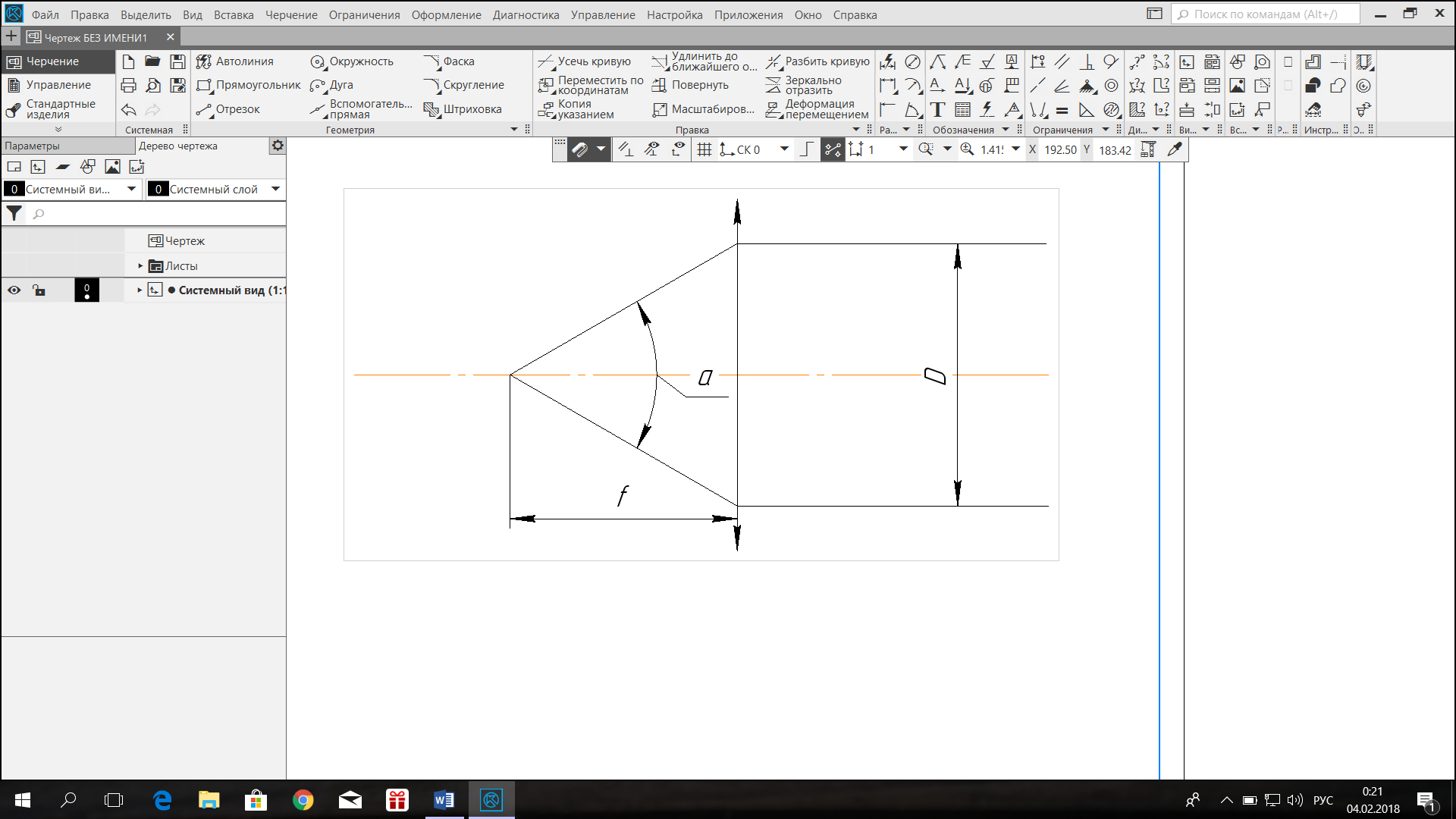


Рисунок 7 – Числовая апертура коллиматора

Числовая апертура волокна NA=0,13=sin α. Отсюда, α=7,5˚.

Определим

Получим, что диаметр выходного пучка D ≈ 5 мм, что покрывает более 50% боковой поверхности кюветы.

Таким образом, блок подсветки представляет собой лазерный излучатель FPL-810-14BF компании ЗАО «НОЛАТЕХ» и коллиматор F810APC-842 компании Thorlabs.

Для наблюдения процессов кластеризации необходимо изменить температуру дисперсии. Для этого используется силиконовый тонкопленочный нагреватель, производства компании «Neatfor» (Таблица 5). Нагреватель обладает рядом преимуществ: высокий КПД, равномерное тепловыделение с поверхности, возможно варьировать удельной мощностью излучения, простота использования.

Таблица 5 - Технические характеристики нагревателя

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование параметра | Величина |
| Удельная мощность, Вт/см2 | От 0,02 до 3 |
| Габаритные размеры, мм | 46,5х12,5х1,5 |
| Рабочая температура, ˚C | От -50 до +200 |

Для выбора блока питания необходимо учитывать следующие параметры:

* Потребляемая мощность
* КПД

Расчет выходной мощности блока питания:

Изначально необходимо узнать потребляемую мощность отдельных компонентов конструкции (Таблица 6).

Таблица 6 – Значение потребляемой мощности всех компонентов

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование параметра | Величина |
| Компонент | Потребляемая мощность, Вт |
| Нагреватель | до 15 |
| Видеокамера | 4,3 |
| Лазерный излучатель | 0,072 |
| Модуль управления силовой | 5 |
| Планшетный компьютер | 20 |

Просуммировав данные значения потребляемой мощности и добавив 20% в качестве запаса, получаем общую потребляемую мощность 54 Вт.

По полученным результатам расчета выбран модуль питания AB60S2400A компании Delta Electronics (Таблица 7).

Таблица 7 - Технические характеристики блока питания

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование параметра | Величина |
| Выходная мощность | 60 Вт |
| КПД | 87% |
| Рабочая температура | от -40 до +80 |
| Габаритные размеры | 88,9х67,5х34,2 мм |
| Масса | 0,36 кг |

Модуль управления и сбора данных представляет собой панельный компьютер AFL-08A-N26 компании iEi Integration. Монитор оператора сомещен с модуле управления и сбора данных и представляет собой экран компьютера. Панельный компьютер применяется для опроса/прослушивания приборов, модулей ввода, управления и контроля ходом проведения эксперимента космонавтом. Он является специализированным моноблочным изделием, с повышенной отказоустойчивостью, высокой степени защиты и эффективным процессором.

Выбор устройства хранения информации был проведен после предварительного обзора современных flash-накопителей (Таблица 8).

Таблица 8 – Сравнение различных типов flash-накопителей

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Тип | Преимущества | Недостатки |
| Жесткий диск | Большой объем памяти  Высокая скорость работы.  Дешевизна хранения данных в расчете на 1 Мбайт. | Стационарная привязка к компьютеру.  Большие габариты.  Чувствительность к вибрации.  Шум.  Тепловыделение. |
| Оптический диск | Удобство транспортировки.  Относительная дешевизна хранения информации.  Возможность тиражирования. | Малый объем.  Необходимость в считывающем устройстве.  Ограничения при операциях чтения/записи.  Невысокая скорость работы.  Чувствительность к вибрации.  Шум. |
| Флэш-память | Высокая скорость доступа к данным.  Экономное энергопотребление.  Устойчивость к вибрации.  Удобство подключения к компьютеру.  Компактные размеры. | Высокая себестоимость 1Мбайт хранимой информации.  Ограниченное количество циклов записи. |
| Тип | Преимущества | Недостатки |
| SSD | Высокая скорость доступа к данным  Экономное энергопотребление.  Устойчивость к вибрации.  Компактные размеры. | Очень высокая себестоимость 1Мбайт хранимой информации. |

Исходя из данных, представленных в таблице 8, в качестве flash-накопителя выбрана флэш-память. Для выбора конкретной модели необходимо рассчитать требуемый объем данных.

Расчет требуемого объема памяти:

Объем памяти Q определяется исходя из параметров камеры: разрешения – 1920х1080, частоты кадров – 50 Гц и АЦП – 16 бит.

Q = 1920·1080·50·16=0,21 Гбайт/с

Для 15-минутной видеофиксации одной кюветы требуется 189 Гбайт. Отсюда, для 10 кювет объем памяти карты составляет 1890 Гбайт.

По результатам расчета в качестве устройства хранения информации был выбран USB-накопитель компании Kingston, характеристики которого приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Технические характеристики флэш-памяти

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование параметра | Величина |
| Емкость | 2 Тб |
| Скорость | 200 Мб/с для записи |
| Габаритные размеры | 75,18х27х21,02 мм |
| Рабочая температура | от 0 до +60 |

Для создания внутри моноблока вынужденного конвективного теплообмена используется осевой вентилятор компании EBM-Papst модели 255H (Таблица 10). Выбор вентилятора проводился на основе теплового расчета, описанного ниже.

Таблица 10 – Технические характеристики вентилятора

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование параметра | Величина |
| Характерная плотность | 1,2 кг/м3 |
| Скорость вращения | 1257 рад/с |
| Габаритные размеры | 25х25х8 мм |
| Рабочая температура | от -10 до +55 |

# 

# Глава 4 Расчетная часть

# Параметрическая надежность

Целью проведения расчёта является определение вероятности безотказной работы и вероятности отказа по выбранному параметру работоспособности [3].

В качестве параметра работоспособности выбрана светочувствительность матрицы видеокамеры. Была исследована на наработку до отказа партия изделий в количестве 100 шт. Результаты исследования приведены на гистограмме (Рисунок 8).

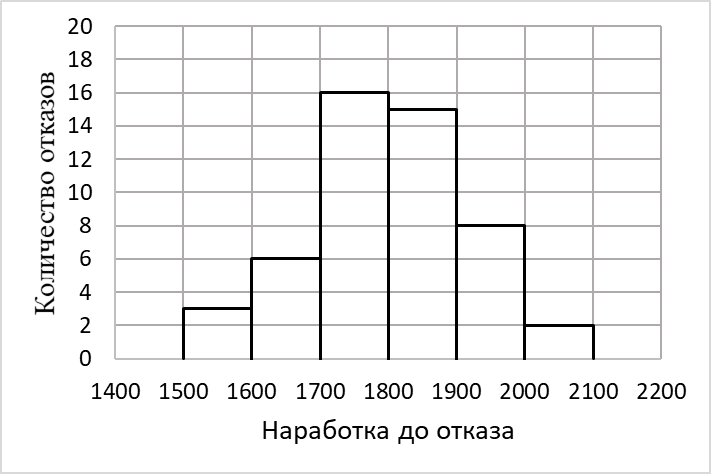


Рисунок 8 – Гистограмма

Из гистограммы видно, что закон распределения выбранного параметра – нормальный. Плотность вероятности f(t) для нормального закона распределения описывается двумя параметрами:

1. Математическое ожидание (средняя наработка)
2. Среднеквадратическое отклонение

Тогда

.

Зависимость плотности вероятности от наработки до отказа приведена на рисунке 9.

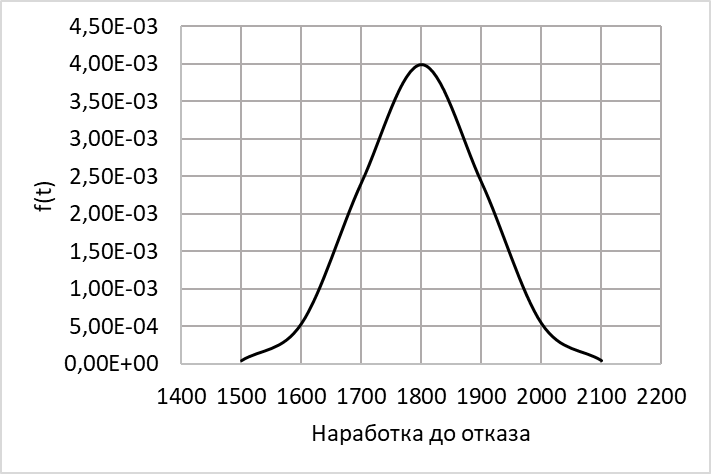


Рисунок 9 – Закон распределения параметра от наработки до отказа

По известной плотности вероятности распределения можно определить вероятность безотказной работы:

;

Тогда вероятность отказа

.

По полученным результатам построены зависимости *P(t)* и *F(t)* (Рисунок 10).

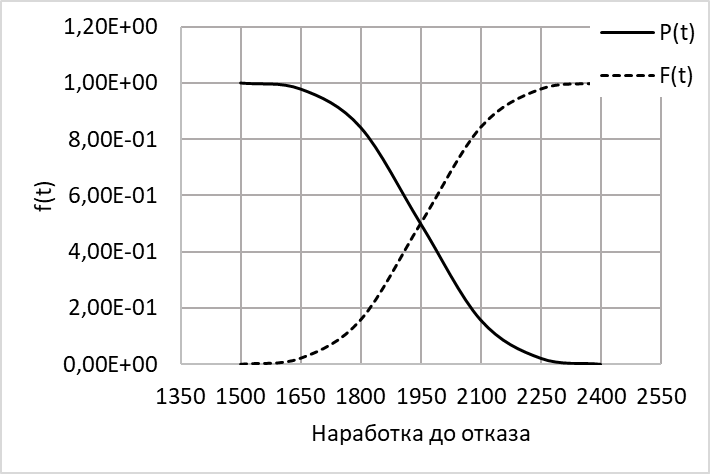


Рисунок 10 – График зависимостей вероятности безотказной работы и вероятности отказа от наработки до отказа

Расчет безотказной работы был проведен также для такого параметра работоспособности, как выходная мощность резистивного нагревателя. Была исследована партия изделий в количестве 50 шт. Результаты исследования приведены на гистограмме (Рисунок 11).

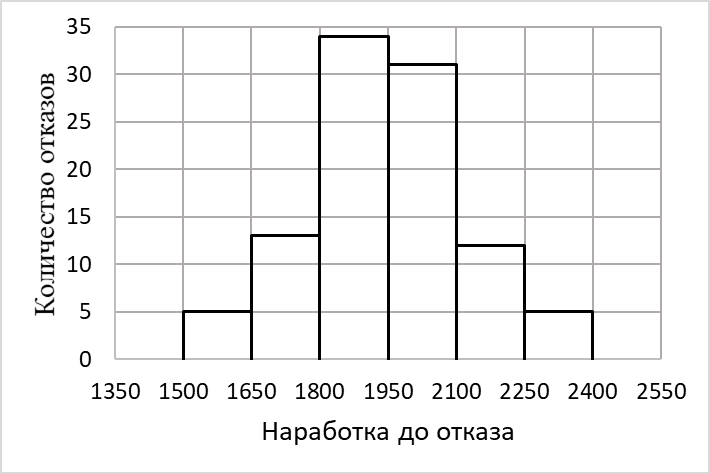


Рисунок 11 – Гистограмма

Из гистограммы видно, что закон распределения выбранного параметра – нормальный, следовательно, для него характерны следующие параметры:

1. Математическое ожидание (средняя наработка)
2. Среднеквадратическое отклонение

Тогда

.

Зависимость плотности вероятности от наработки до отказа приведена на рисунке 12.

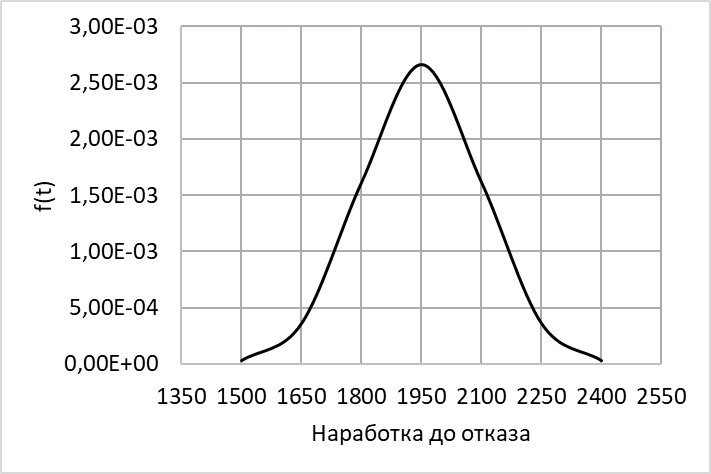


Рисунок 12 – Закон распределения параметра от наработки до отказа

По известной плотности вероятности распределения можно определить вероятность безотказной работы:

;

Тогда вероятность отказа

.

По полученным результатам построены зависимости *P(t)* и *F(t)* (Рисунок 13).

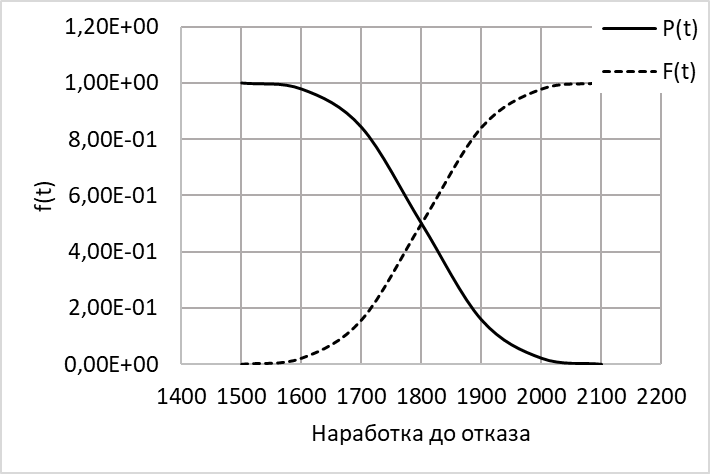


Рисунок 13 – График зависимостей вероятности безотказной работы и вероятности отказа от наработки до отказа

По результатам расчета вероятность безотказной работы научной аппаратуры не менее 0.99 при назначенном ресурсе работы не менее 1500 ч.

# Тепловой расчет

Целью расчета являются:

1. определениевыходной мощности нагревателя
2. определение условий, при которых температура внешней стенки корпуса не превышает 40°С.

**4.2.1 Определение выходной мощности нагревателя**

Выходная мощность нагревателя оценивалась в САПР Solidworks в модуле Simulation [4]. Для этого была создана расчетная модель, представляющая собой кювету с жидкофазной дисперсией. В модели были приняты следующие допущения:

* Дисперсный раствор заменён на воду
* Крышка кюветы заменена на стенку

Была решена задача нестационарного теплообмена, в которой общее время нагрева составляет 20 мин., а начальная температура тел соответствует 20˚С. В качестве источника тепловыделения с мощностью 0,8 Вт использовалась боковая стенка кюветы.

В результате расчета получено распределение температуры у кюветы с жидкофазной дисперсией (Рисунок 14). Максимальная температура нагрева соответствует 70˚С, а минимальная – 56 ˚С.

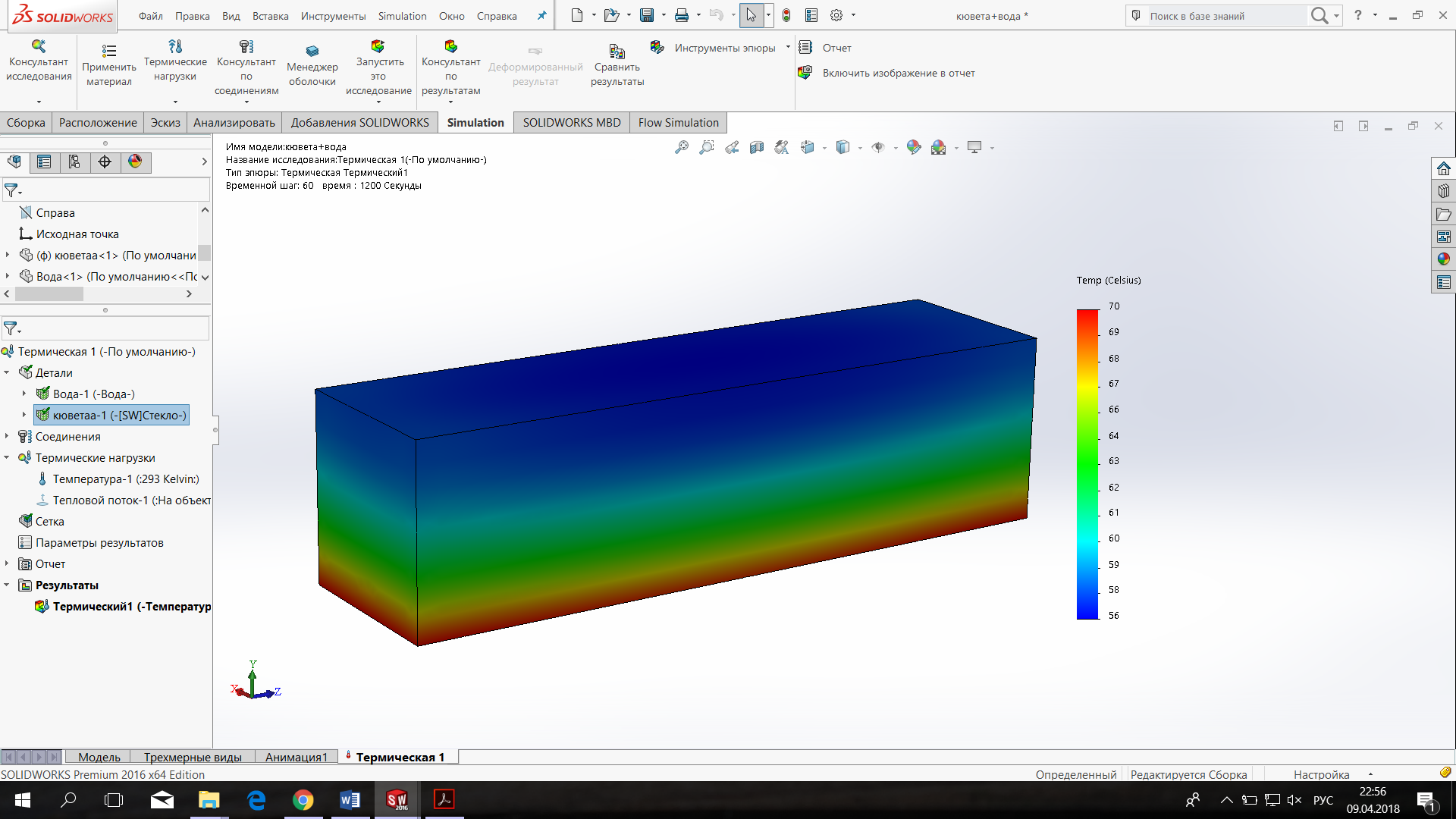


Рисунок 14 – Распределение температуры при 20 минутном нагреве кюветы с жидкофазной дисперсией с мощностью тепловыделения 0,8 Вт

Таким образом, условие ТЗ, по которому необходимо нагреть кювету не более 70 ˚С, будет выполнено при мощности нагревателя 0,8 Вт с временем нагрева 20 мин.

**4.2.2 Определение условий, при которых температура внешней стенки корпуса не превышает 40°С.**

Изначально была рассмотрена модель, в которой тепловыделение компонентов моноблока передано в стенки корпуса, а между корпусом и внешней средой присутствует только лучистый теплообмен.

Принято, что тепловыделение компонентов соответствует их потребляемой мощности.

Источниками тепловыделения являются:

* Видеокамера – 4,3 Вт
* Модуль управления силовой – 5 Вт
* Планшетный компьютер – 20 Вт

Лучистый теплообмен характеризуется следующей формулой:

где *Q* – тепловая мощность [Вт], *ε* – степень черноты, *σ* – постоянная Стефана-Больцмана [Вт/(м2К4)], *F* – площадь поверхности излучающего тела [м2], *Т* – температура тела [K].

Тепловая мощность равна сумме потребляемой мощности всех компонентов: Q=20+5+4,3=29,3 Вт. Поскольку у моноблока полированный алюминиевый корпус (изначально отсутствует специальное покрытие), то степень черноты равна 0,05. Суммируем габаритные размеры всех излучающих поверхностей, в результате получаем, что площадь поверхности излучения приблизительно равна 0,263 м2.

Температура стенки корпуса вычисляется по формуле для лучистого теплообмена:

Полученная температура стенки корпуса не соответствует требованиям ТЗ по безопасности. Поэтому требуется создать вынужденную конвекцию внутри моноблока.

Дальнейший анализ проводился в САПР Solidworks в модуле Flow Simulation [4].

Для реализации вынужденного конвективного теплообмена была рассмотрена новая расчётная модель, в которой компоненты моноблока, а также вентилятор, обозначаются условными геометрическими фигурами (цилиндрами, параллелепипедами и т.п.).

Для анализа созданной модели рассматривается внутренняя задача с адиабатическими внешними стенками. Полученные результаты распределения температуры в моноблоке (Рисунок 15) показали, что температура стенки корпуса превышает требуемое значение ТЗ, поэтому необходимо учитывать лучистый теплообмен между внешними стенками с окружающей средой.

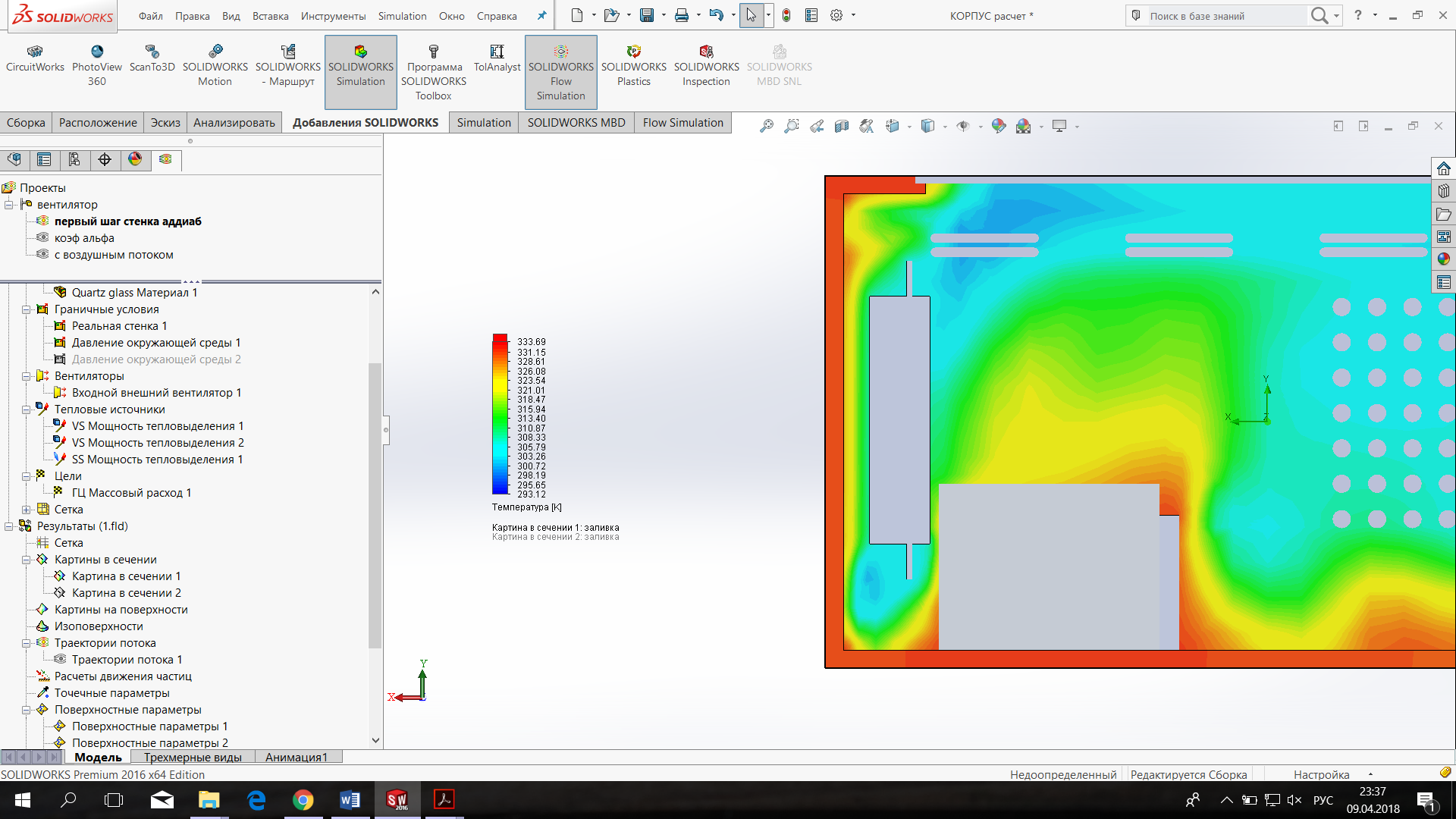
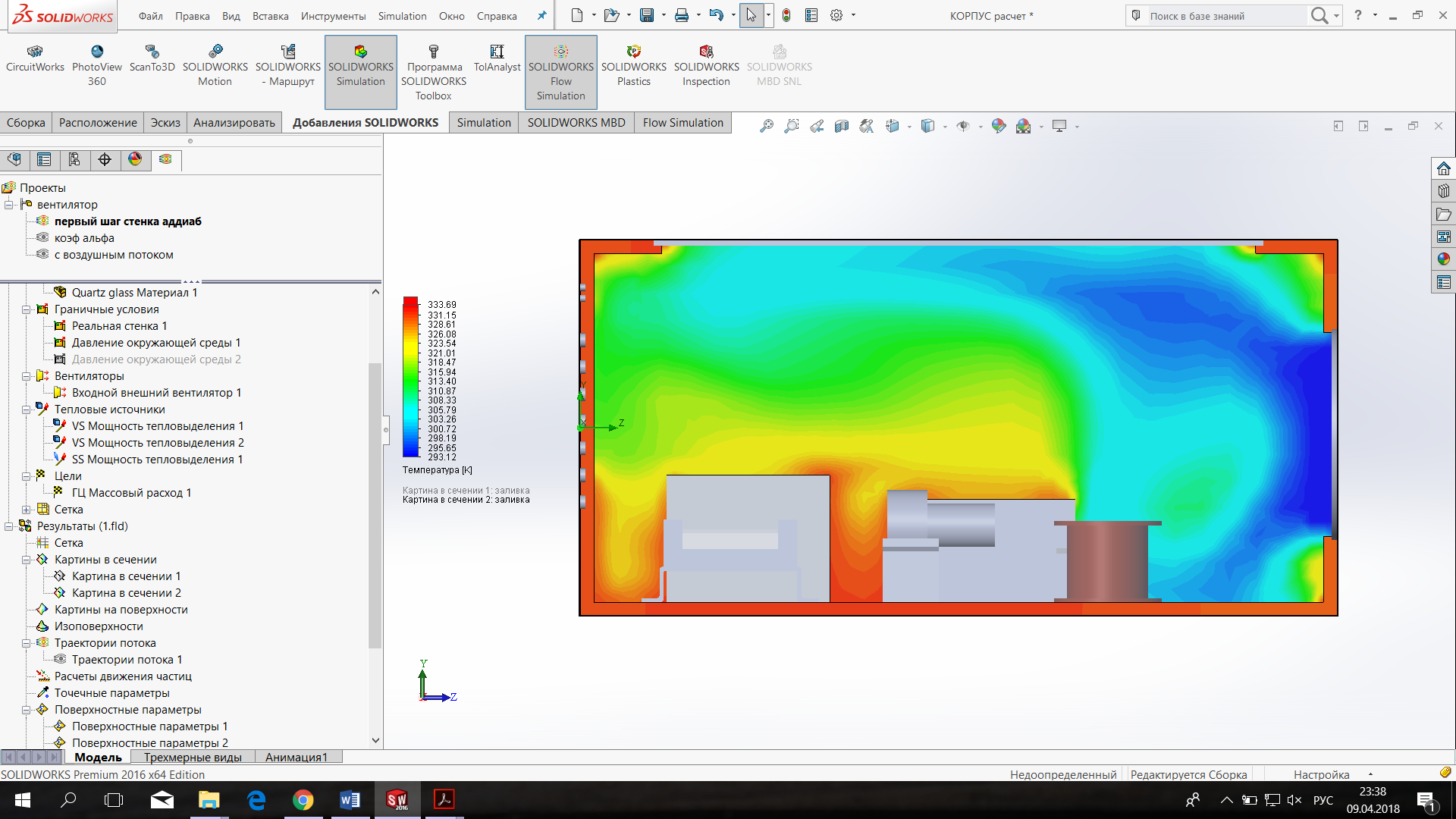


Рисунок 15 – Распределение температуры внутри моноблока для первой расчетной модели – вид спереди

Для этого необходимо рассчитать коэффициент теплоотдачи, который зависит от ряда факторов: вида и режима движения потока, его физических свойств, размеров и формы стенки, шероховатости стенки.

Сначала оценим тепловой поток, излучающийся внешними стенками наружу, рассматривая случай лучистого теплообмена между телом и оболочкой, разделёнными прозрачной средой:

где *ε1* – степень черноты корпуса со специальным покрытием, *ε2* – степень черноты оболочки (отсека РС МКС), *σ* – постоянная Стефана-Больцмана [Вт/(м2К4)], *F1* и *F2* – площадь поверхности соответственно излучающего тела и оболочки [м2], *Т1* и *Т2* – температура соответственно излучающего тела и оболочки [K].

Было принято, что моноблок находится в отсеке, который представляет собой цилиндр диаметром 4 м и высотой 4 м; *ε1*= *ε2*=0,5.

Подставив численные значения, получим:

Воспользовавшись законом Ньютона-Рихмана, выражающий тепловой поток между разными телами через температуры, определим коэффициент теплоотдачи:

Получив значение коэффициента теплоотдачи, добавим в расчетной модели новое условие - внешние стенки обмениваются теплом с окружающей средой. Полученное распределение температуры (Рисунок 16) показало, что температура стенки корпуса превышает 40 ˚С.

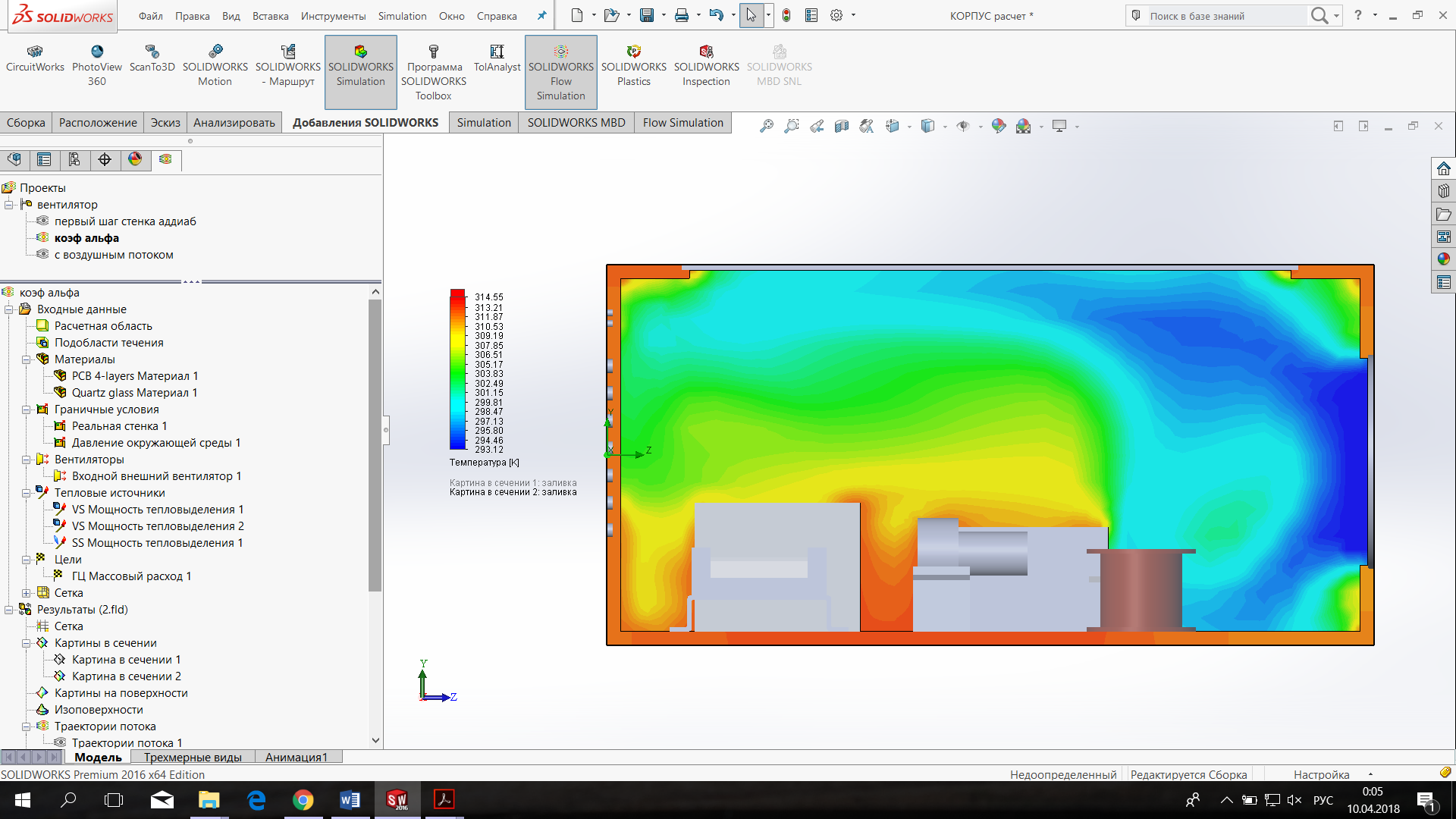
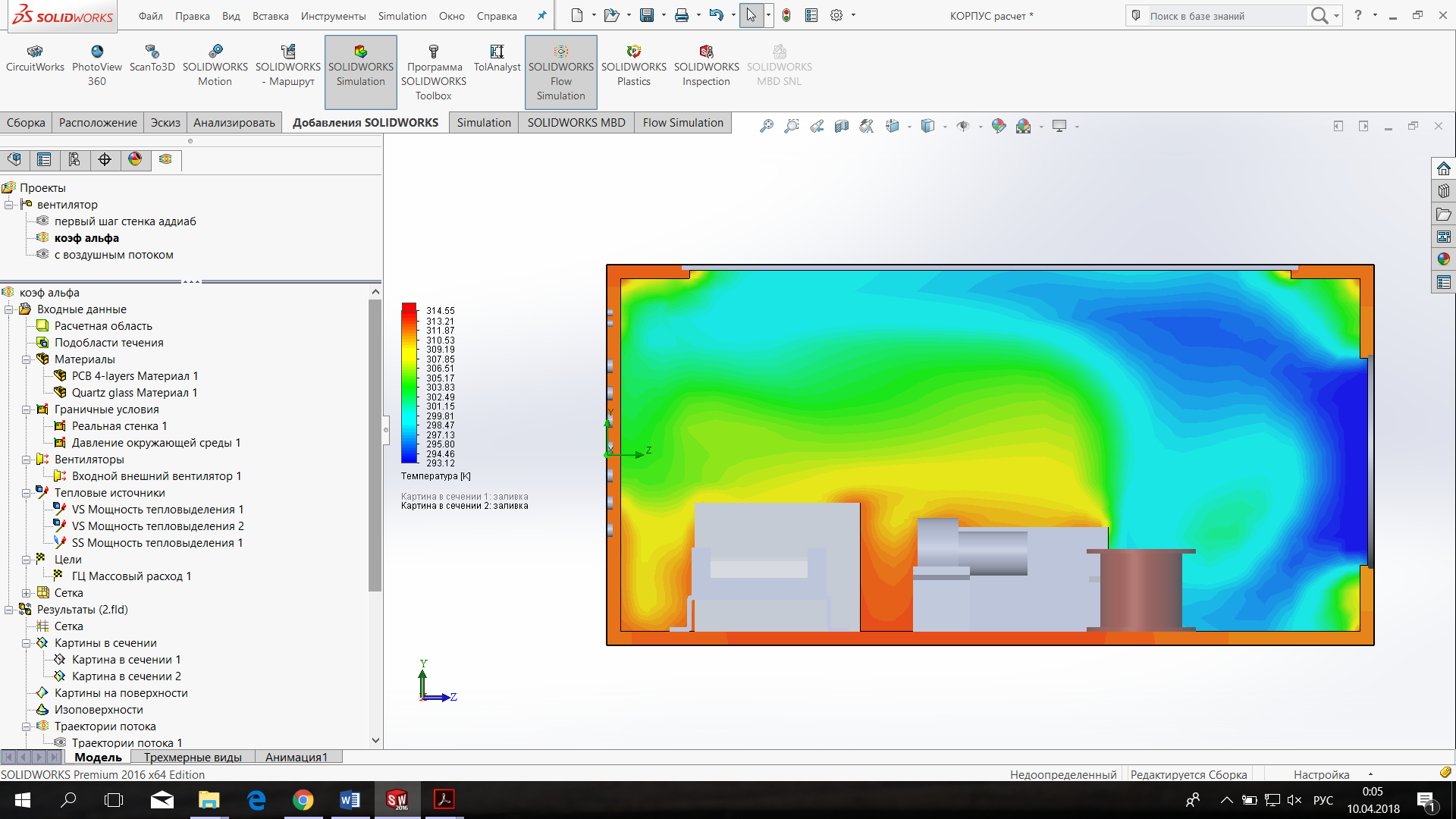


Рисунок 16 – Распределение температур внутри моноблока для второй расчетной модели – вид спереди

Было решено создать отдельный воздушный канал для вентилятора, находящегося внутри монитора. Тем самым, можно рассматривать внутреннюю задачу с адиабатическими внешними стенками без учета тепловыделения от монитора. В ходе расчета получено распределение температуры внутри моноблока (Рисунок 17).

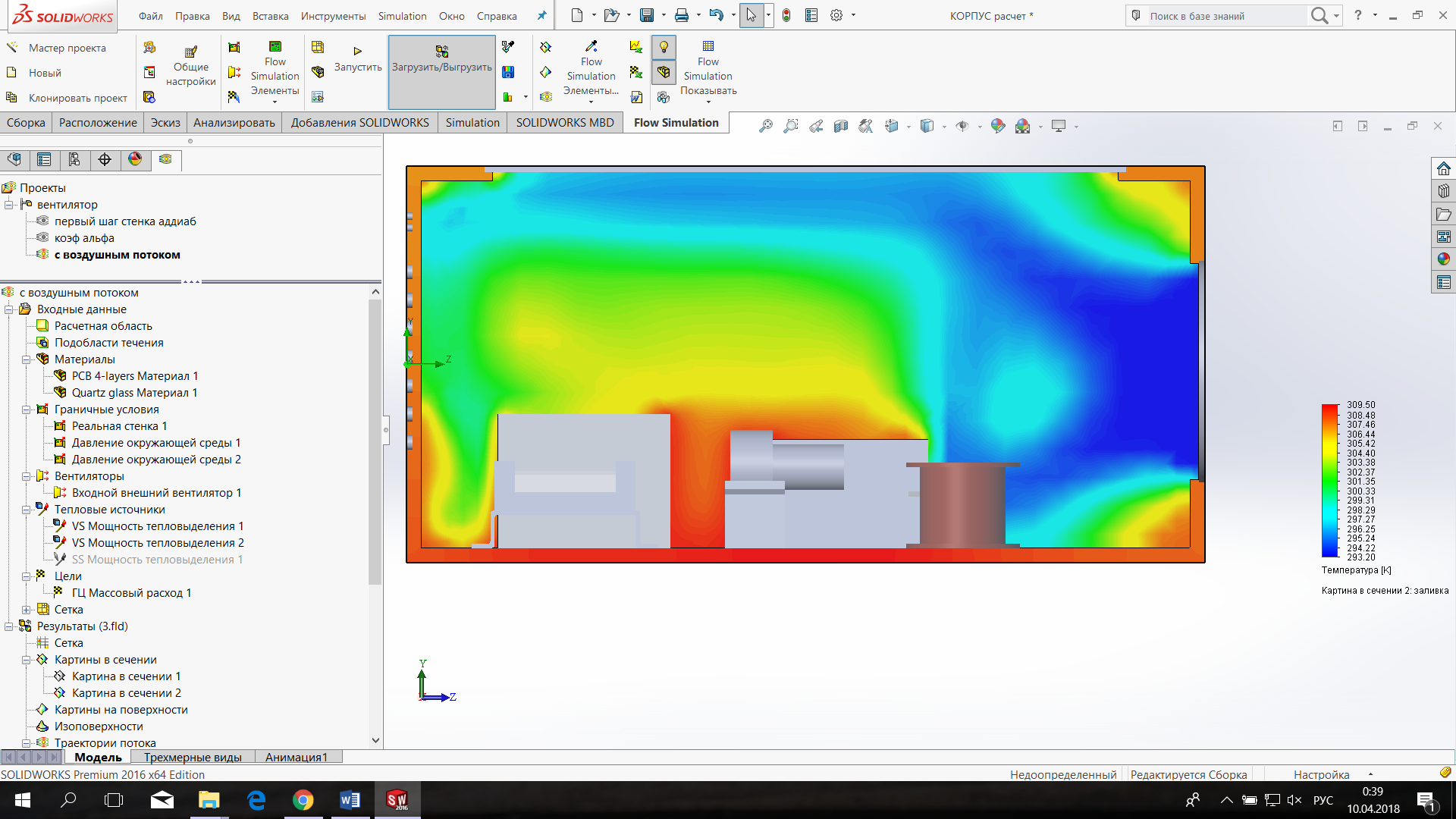
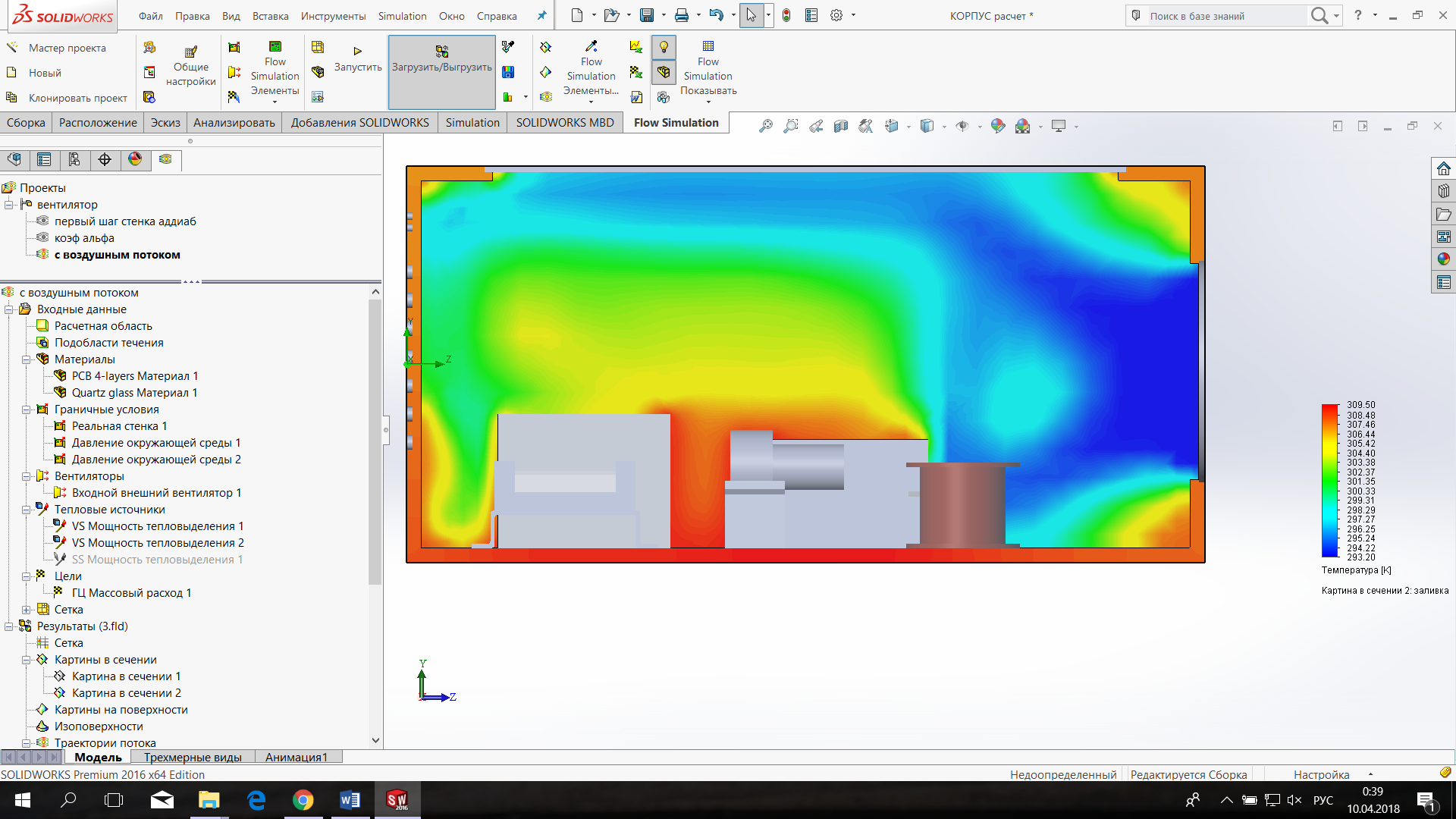


Рисунок 17 – Распределение температур внутри моноблока для третей расчетной модели – вид спереди

Таким образом, создание отдельного воздушного канала является условием, при котором температура стенки корпуса не превышает 40˚С.

# Модальный анализ корпуса

Целью анализа является получение значений собственных колебаний корпуса, работа в которых недопустима, ввиду опасности возникновения явления резонанса в локальных частях конструкции. Эти значения можно также использовать для установления диапазонов вибраций при испытании на вибростенде.

Анализ проводится в ANSYS Workbench 18.0 в модуле Modal [5]. Для этого необходимо учитывать крепление отдельных листов корпуса между собой. Поскольку при креплении к каркасу не возникает зазоров, то в расчетной модели задаем контактные площадки. Дно корпуса фиксируется в глобальной системе координат. Рассчитаны первые семь мод колебаний конструкции, приведенных на рисунках 18 – 23.

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\Home\AppData\Roaming\Ansys\v180\preview.png | C:\Users\Home\AppData\Roaming\Ansys\v180\preview.png |
| Рисунок 18 – Первая мода корпуса | Рисунок 19 – Вторая мода корпуса |
| C:\Users\Home\AppData\Roaming\Ansys\v180\preview.png | C:\Users\Home\AppData\Roaming\Ansys\v180\preview.png |
| Рисунок 20 – Третья мода корпуса | Рисунок 21 – Четвёртая мода корпуса |
| C:\Users\Home\AppData\Roaming\Ansys\v180\preview.png | C:\Users\Home\AppData\Roaming\Ansys\v180\preview.png |
| Рисунок 22 – Пятая мода корпуса | Рисунок 23 – Шестая мода корпуса |

Таблица 11 – Сводная таблица результатов модального анализа

|  |  |
| --- | --- |
| Номер моды | Значение собственной частоты, Гц |
| 1 | 484,05 |
| 2 | 951,65 |
| 3 | 1016,1 |
| 4 | 1228,2 |
| 5 | 1286,6 |
| 6 | 1329,5 |

По результатам модального анализа можно сделать вывод, что научная аппаратура не окажется в условиях близких к условиям резонанса, следовательно, вибрационное воздействие при выводе на орбиту в составе космического аппарата не приведет к разрушению изделия.

# Заключение

Эксперимент по исследованию жидкофазной дисперсии в условиях микрогравитации при изменении температуры является фундаментальным космическим исследованием по физике микрогравитации.

В ходе курсовой работы для проектирования изделия, способного реализовать эксперимент по исследованию жидкофазной дисперсии, было выполнено:

1. Анализ и выбор оптической схемы конструкции.
2. Обзор и выбор составных частей конструкции.
3. Проектирование конструкции изделия.
4. Проведение расчетов, подтверждающих работоспособность изделия

Результатом проделанной работы является разработанная научная аппаратура для исследования жидкофазной дисперсии в условиях микрогравитаци при изменении температуры.

# Список использованных источников

1. Орлов П.И. Основы конструирования: справочно-методическое пособие в 3-х книгах. Ки. 1. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1977 – 623 с.
2. Фетисов Г.В. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007 – 672 с.
3. Сорокин А.А., Алексеев П.С. Оценка показателей надежности электронных устройств и систем: учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. –СПб.: Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2003 – 88 с.
4. Киселёв И.А. Основы моделирования процессов теплообмена в среде Solidworks: лабораторный практикум / И.А. Киселёв, С.Ю. Страхов. – СПб.: Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2017 – 48 с.
5. Бруяка В.А. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: учебное пособие / В.А. Бруяка, В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова, Н.А. Глазунова, И.Е. Адеянов. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т., 2010 – 271 с.
6. ГОСТ 14.201-83. Обеспечение технологичности конструкции. Общие требования – Введ. 1984-01-01. – М.: Стандартинформ, 2009 – 9 с.
7. ГОСТ 2.711-82. Схема деления изделия на составные части. – Введ. 1983-06-30. – М.: Стандартинформ, 2009 – 10 с.
8. ГОСТ 2.106-96. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Текстовые документы. – Введ.1997-07-01. – М: Стандартинформ, 2005 – 39 с.
9. ГОСТ 2.701-2008. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению. – Введ. 2009-07-01. – М.: Стандартинформ, 2009 – 16 с.

# Приложение А

Схема комбинированная функциональная

# Приложение Б

Чертеж общего вида

# Приложение В

Схема деления