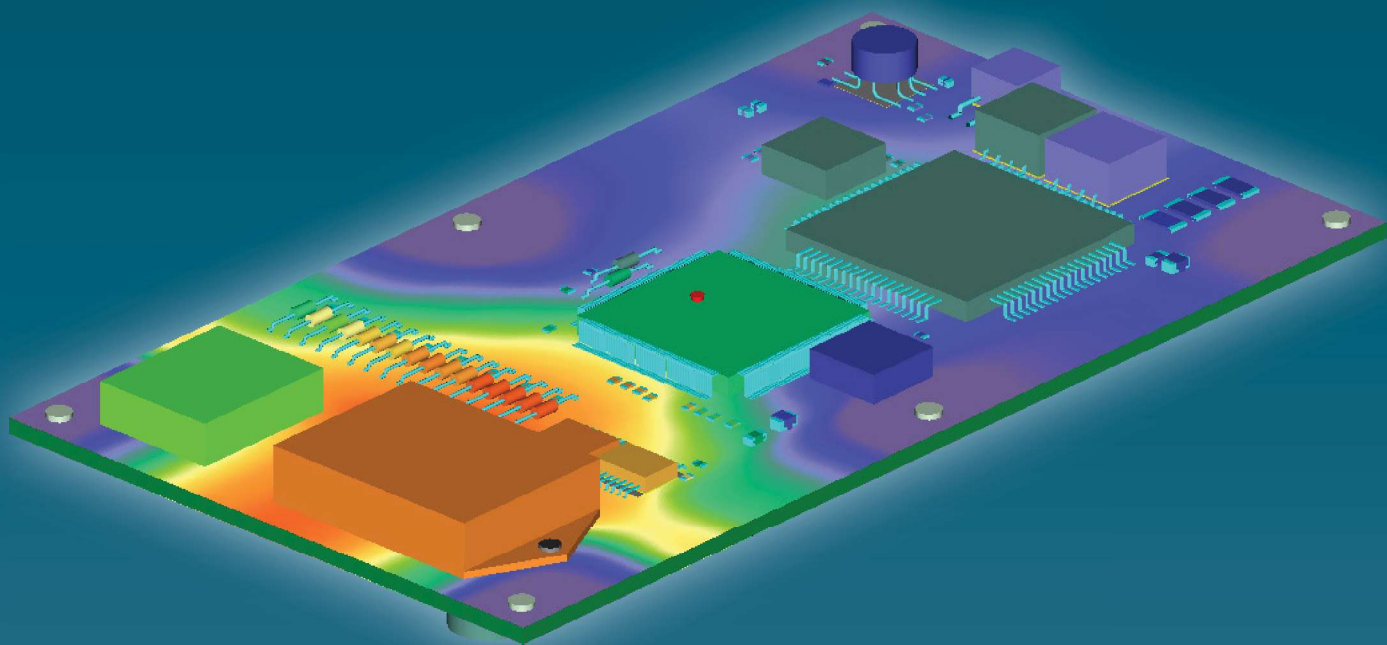


---

# САПР ЭЛЕКТРОНИКИ

---



№ 3 (3)  
2023



# САПР электроники

## Научно-практический журнал

№ 3 (3), 2023

Издается с 2023 г.

### Главный редактор

Шалумов Александр Славович – д.т.н., проф., акад. Международной академии информатизации, Генеральный директор ООО «НИИ «АСОНИКА», председатель технического комитета по стандартизации ТК 165 «САПР электроники»

### Адрес редакции:

600017, Владимирская обл., г. Владимир, ул. Луначарского, д. 16А  
Тел.: +7 (916) 581-25-77  
E-mail: als@asonika-online.ru  
<https://asonika-online.ru/journal/>

### Учредитель:

Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт «АСОНИКА» (ОГРН 1093332002312)

**Языки:** русский, английский

### Территория распространения:

Российская Федерация, зарубежные страны

Журнал зарегистрирован в Роскомнадзоре 29 декабря 2022 г. (Эл № ФС77-84458)

Дизайн и верстка: Шалумов М.А.

© Издательство ООО «Научно-исследовательский институт «АСОНИКА», «САПР электроники», 2023

Дата выхода журнала: 19 сентября 2023 г.

Перепечатка материалов из журнала «САПР электроники» возможна только при письменном согласии редакции журнала. При перепечатке материалов ссылка на журнал «САПР электроники» обязательна. За содержание материалов ответственность несут авторы.

### СОДЕРЖАНИЕ

От главного редактора.....	3
<b>Шалумов А.С.</b> База данных ЭКБ и материалов .....	8
<b>Рафилович М.И.</b> Импортозамещение и достижение технологического суверенитета в области САПР электроники. Концепция системного развития САПР электроники..	25
<b>Малютин Н.В., Афанасьев А.С., Посысаев Е.И.</b> Применение методов виртуальной инженерии в ходе работ по обеспечению стойкости аппаратуры к воздействию специальных факторов. Часть 1. Процесс проектирования стойкой аппаратуры. Общие подходы проектирования .....	41
<b>Сумароков Е.С.</b> Создание программных и аппаратных средств САПР современной ЭКБ .....	49
<b>Ильин С.А.</b> Первые национальные стандарты в области информационного обеспечения САПР ЭКБ: общие положения, микросхемы интегральные .....	60
<b>Кривошеев О.В., Трищенко А.В., Ганчук С.Н., Уразов А.В., Сыров С.А., Щербаков А.А., Кузнецова А.А.</b> Интеграция САПР «МАКС» И САРУС.CAD .....	67
<b>Увайсов С.У., Черноверская В.В., Иванов И.А., Раевский Г.П., Увайсова А.С.</b> Методика обеспечения контролепригодности радиоэлектронных устройств .....	70
<b>Ерофеева Т.К., Сбитнев С.Е., Ульянин О.В.</b> Концепция перехода к машинопонимаемому формату документов по стандартизации и интеграции фонда нормативных документов с автоматизированными информационными системами.....	80
<b>Годовицын М.М., Живчикова Ю.А., Старостин Н.В., Штанюк А.А.</b> Реализация системы для проверки топологии на соответствие правилам топологического проектирования .....	84
<b>Манохин А.И., Полесский С.Н.</b> Исследование аэродинамического режима камеры тепла и холода .....	93

# CAD electronics

## *Scientific and practical journal*

№ 3 (3), 2023

Published since 2023

### Editor-in-chief

Shalumov Alexander Slavovich – Doctor of Technical Sciences, Prof., Acad. International Informatization Academy, General Director of Scientific-Research Institute «ASONIKA» LTD, Chairman of the Technical Committee for Standardization TC 165 «CAD electronics»

### Editorial address:

600017, Vladimir region, Vladimir, st. Lunacharskogo, 16A  
Tel.: +7 (916) 581-25-77  
E-mail: als@asonika-online.ru  
<https://asonika-online.ru/journal/>

### Founder:

Scientific-Research Institute «ASONIKA» LTD (OGRN 1093332002312)

**Languages:** Russian, English

### Distribution area:

Russian Federation, foreign countries

The journal was registered in the Roskomnadzor on December 29, 2022 (EI No. FS77-84458)

Design and layout: Shalumov M.A.

© Scientific-Research Institute «ASONIKA» LTD Publishers, «CAD electronics», 2023

Journal release date: September 19, 2023

**Reprinting materials from the journal «CAD electronics» is possible only with the written consent of the editors of the journal. When reprinting materials, a reference to the «CAD electronics» magazine is required. The authors are responsible for the content of the materials.**

### CONTENTS

<b>From the editor-in-chief</b> .....	3
<b>Shalumov A.S.</b> Database of electronic component base and materials .....	8
<b>Rafilovich M.I.</b> Import substitution and achievement of technological sovereignty in the field of CAD electronics. The concept of system development of CAD electronics.....	25
<b>Malyutin N.V., Afanasiev A.S., Posysaev E.I.</b> Application of virtual engineering methods in the course of work to ensure the resistance of equipment to the effects of special factors. Part 1: Ruggedized hardware design process. General design approaches .....	41
<b>Sumarokov E.S.</b> Creation of software and hardware for a computer-aided design system of a modern electronic component base .....	49
<b>Ilyin S.A.</b> The first national standards in the field of information support for computer-aided design of electronic component base: general provisions, integrated micro-circuits .....	60
<b>Krivosheev O.V., Trishchenkov A.V., Ganchuk S.N., Urazov A.V., Syrov S.A., Shcherbakov A.A., Kuznetsova A.A.</b> Integrating the MAKS computer-aided-design system to the SARUS.CAD .....	67
<b>Uvaisov S.U., Chernoverskaya V.V., Ivanov I.A., Raevsky G.P., Uvaisova A.S.</b> Methodology for ensuring the testability of radio-electronic devices.....	70
<b>Erofeeva T.K., Sbitnev S.E., Ulyanin O.V.</b> The concept of transition to a machine-understandable format of documents for standardization and integration of a fund of normative documents with automated information systems.....	80
<b>Godovitsyn M.M., Zhivchikova Yu.A., Starostin N.V., Shtanyuk A.A.</b> Implementation of a system for checking topology for compliance with topological design rules .....	84
<b>Manohin A.I., Polesskiy S.N.</b> Investigation of the aerodynamic mode of the Clima control heat and cold chamber.....	93

# От главного редактора журнала «САПР электроники»

**Уважаемые авторы, читатели и коллеги!**

Информация о журнале направляется **всем профильным предприятиям, корпорациям, министерствам России.**

Бумажные версии журнала № 1 и №

2 были направлены **Президенту РФ В.В. Путину.** Администрация Президента РФ очень оперативно (через 6 дней после отправки писем с журналами) сообщила ответными письмами о получении обоих номеров:



АДМИНИСТРАЦИЯ ПРЕЗИДЕНТА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УПРАВЛЕНИЕ  
ПРЕЗИДЕНТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПО РАБОТЕ С ОБРАЩЕНИЯМИ ГРАЖДАН  
И ОРГАНИЗАЦИЙ

ул. Ильинка, д. 23, Москва, Российская Федерация, 103132

« 4 » \_\_\_\_\_ июля \_\_\_\_\_ 20 23 г.

№ A26-02-НО-69559591

ШАЛУМОВУ А.С.  
ул. Луначарского, 16А, ТК 165 "САПР  
электроники"  
г. Владимир  
Владимирская область,  
600017



НО-  
695595

\* 2 2 9 0 0 9 8 4 1 5 1 5 4 \*

На № 126-01 от 28.06.2023 г.

Сообщаем, что журнал с сопроводительным письмом на имя Президента Российской Федерации в письменной форме получен.

Референт Управления

Д.Фомкин

УДК 621.396.6

## Исследование аэродинамического режима камеры тепла и холода

**Манохин Александр Иванович**

Старший преподаватель НИУ ВШЭ и РТУ МИРЭА, Москва  
asonika@list.ru

**Полесский Сергей Николаевич**

Доцент НИУ ВШЭ, кандидат технических наук, Москва

### Аннотация

Проводится экспериментальное исследование аэродинамических параметров камеры тепла и холода на примере Climcontrol M-70/100-120 KTX. Создается 3D-модель для расчета камеры тепла и холода в SOLIDWORKS, проводится аэродинамическое моделирование SW Flow Simulation, проводится сравнение экспериментальных и расчетных данных, делаются выводы о применимости расчетной аэродинамической модели.

**Ключевые слова:** камера тепла и холода, CAE, SOLIDWORKS Flow Simulation, аэродинамика, анемометр, тепловой режим.

## Investigation of the aerodynamic mode of the Clima control heat and cold chamber

**Manohin Alexandr, Polesskiy Sergey**

### Abstract

An experimental study of the aerodynamic parameters of the heat and cold chamber is being carried out using the example of Climcontrol M-70/100-120 KTX. A 3D model is created to calculate the heat and cold chamber in SOLIDWORKS, aerodynamic modeling SW Flow Simulation is carried out, experimental and calculated data are compared, conclusions are drawn about the applicability of the calculated aerodynamic model.

**Keywords:** heat and cold chamber, CAE, SOLIDWORKS Flow Simulation, aerodynamics, anemometer, thermal mode.

### 1 Объект исследования

В последнее время большое значение имеют испытания на надёжность. Причем они возможны как в экспериментальном виде, так и в виде вычислительного эксперимента или виртуальных испытаний [1, 2]. В качестве оборудования для климатических испытаний используют специальные камеры. Здесь объект исследования – камера тепла и холода Climcontrol M-70/100-

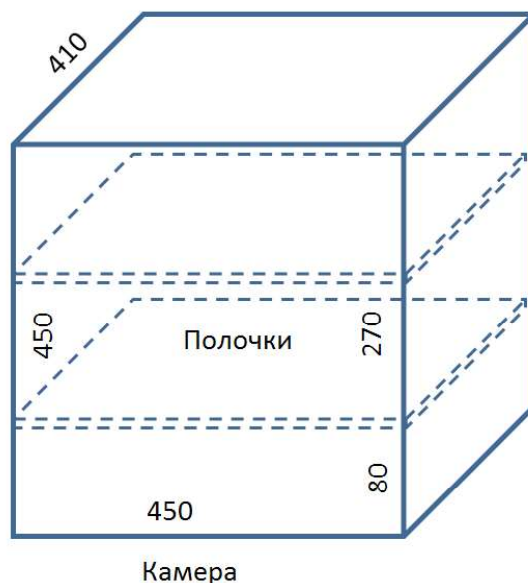
120 KTX [3] (см. рисунок 1).

Климатическая камера предназначена для проведения исследований как при отрицательных, так и при положительных температурах. Камеры «Тепло-Холод» в основном применяются для контроля качества изделий и узлов в радиоэлектронной, упаковочной, фармацевтической промышленности, для проведения исследований при пониженных температурах до  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$





а)



б)

Рисунок 1 – Камера тепла и холода Climcontrol M-70/100-120 КТХ:  
а – внешний вид; б – внутренняя конструкция камеры (вид спереди) с размерами

(двухкаскадный холодильный агрегат), в диапазоне положительных температур до +100 °С.

Испытательная камера смонтирована на каркасе, обеспечивающем заданную жесткость конструкции. Каркас выполнен из профильной трубы. Для снижения теплообмена с окружающей средой на всех стенках камеры укреплен слой теплоизоляции. Внутренние стенки испытательной камеры выполнены из зеркальной нержавеющей стали. Доступ в испытательную камеру обеспечивается через дверь. Герметичность закрытой двери достигается за счет использования дверного уплотнителя и ручки с зажимом. В двери имеется окно со стеклопакетом для визуального наблюдения за испытательным процессом. Окно камеры изготовлено из закаленного стеклопакета.

В рабочем объеме присутствует высокопроизводительный тангенциальный вентилятор фирмы «ЕВМ» (производство Германия) или электродвигатель Weiguang YWF-K102-4E-34 с внешним ротором, что обеспечивает минимальный градиент при условии плотной загрузки образцами.

Схема продува воздуха представлен на рисунке 2. Воздух засасывается из камеры вентилятором через круглое верхнее от-

верстие и проходит вертикально вниз через теплообменник и выбрасывается в камеру снизу через квадратное отверстие, поднимается вверх и опять засасывается, создавая круговой поток и обеспечивая равномерность нагрева по объему.

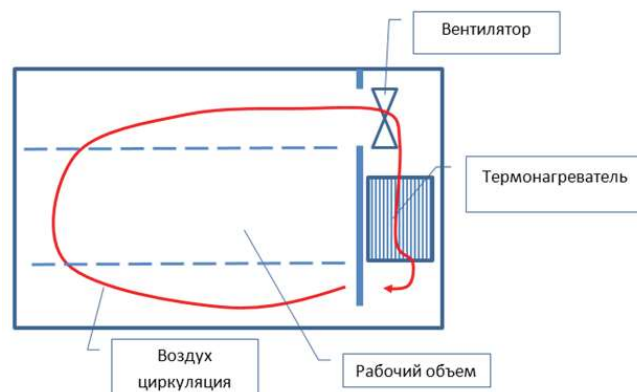


Рисунок 2 – Схема продува внутренней камеры Climcontrol M-70/100-120 КТХ (слева дверь, справа теплообменник)

На рисунке 3 представлены схемы присутствующих отверстий в камере при закрытой дверце. Верхнее отверстие всасывает нижнее прямоугольное для подачи циркулирующего воздуха. Боковое отверстие сбоку для герметического ввода проводов измерительных схем закрыто резиновой пробкой, и с точки зрения аэродинамики им можно пренебречь.



Рисунок 3 – Камера – вид спереди с открытой дверцей – две решетки для образцов; воздухозаборники – круглый сверху и прямоугольный снизу

## 2 Экспериментальное исследование

Основным измеряемым параметром здесь является скорость воздушного потока. Для её измерения используем прибор

для измерения скорости и оценки качества воздуха в помещении Testo 440, состоящий из собственно прибора и измерительного зонда [4].

В данной комплектации Testo 440 в качестве измерителя используется зонд – крыльчатка (Ø 100 мм) с Bluetooth, который по беспроводному соединению передает информацию на индикаторы Testo 440 (см. рисунок 4 и таблицу 1).

Таблица 1 – Параметры зонда-крыльчатки измерителя скорости воздуха Testo 440

Скорость потока воздуха	
Диапазон измерений	0,1 ... 15 м/с
Погрешность	±(0,1 м/с + 1,5 % от изм. знач.)
Разрешение	0,01 м/с

При измерении скорости (см. рисунок 5) надо учитывать, что измеритель имеет конечные размеры, сравнимые с внутренними размерами камеры, и поэтому есть некоторые трудности с его расположением в некоторых точках объёма. И надо учиты-



а)



б)

Рисунок 4 – Измерительное оборудование: а) Testo 440 (154 x 65 x 32 мм); б) Зонд-крыльчатка (Ø 100 мм), размеры 375 x 105 x 46 мм



вать, что его там надо как-то закреплять, т.к. все измерения проводятся при закрытой дверце камеры. А результаты передаются по Bluetooth на Testo 440, расположенный снаружи, причем металлический корпус камеры не являлся для сигнала препятствием.

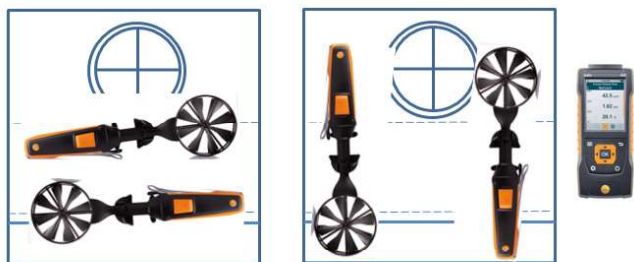


Рисунок 5 – Некоторые возможные положения измерителя скорости с рукояткой в камере

Уточним расположение измерителя скорости в камере с учетом его геометрии (см. рисунок 6). Измерительным элементом является крыльчатка ( $\varnothing$  100 мм), поэтому основной точкой измерения (реперной точкой) будем считать центр крыльчатки, т.е. минимальный размер, например, от стенки, будет равен половине диаметра, т.е. 50 мм. Расстояние от начала ручки штыря до

реперной точки – центра крыльчатки будет 300 мм.

Синие прямоугольники – боковая проекция измерительной крыльчатки (100 мм x 40 мм), которые показывают основные вертикальные и горизонтальные уровни измерения скорости по центру крыльчатки.

На рисунках 7 – 8 представлены результаты измерения скорости воздуха в камере (вид сверху) на разных уровнях по высоте, где стрелки указывают направления движения потока воздуха  $\uparrow$  – к вентилятору,  $\downarrow$  – к дверце. Получилось по вертикали 5 уровней измерения скорости – два верхних уровня, верхняя и нижняя решетка и дно камеры. Точка измерения – реперная точка – положение оси вращения крыльчатки – середина круга диаметром 100 мм.

При измерении на верхнем уровне крыльчатка ставилась вертикально на свою ручку – штырь на дно камеры (репер – 300 мм от дна) или приподнималась установкой на предмет толщиной 70 мм, репер  $300+70=370$  мм от дна.

Измеритель скорости укладывался набок на дне камеры, и реперные точки находилась на 50 мм выше дна камеры.

Измеритель скорости укладывался набок на верхней и нижней решетке, и репер-

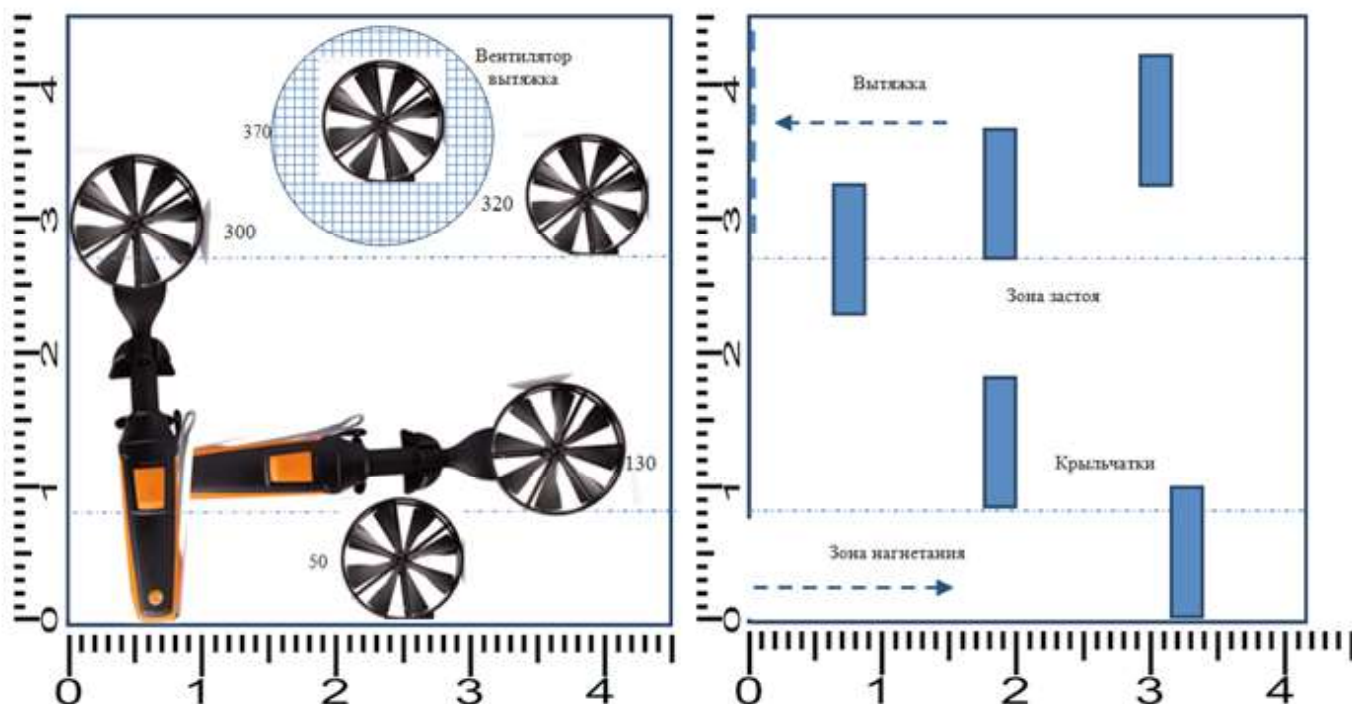


Рисунок 6 – Возможные положения измерителя скорости: справа – вид в камере спереди (минимальное приближение центра крыльчатки – 50 мм), слева – вид в камере сбоку

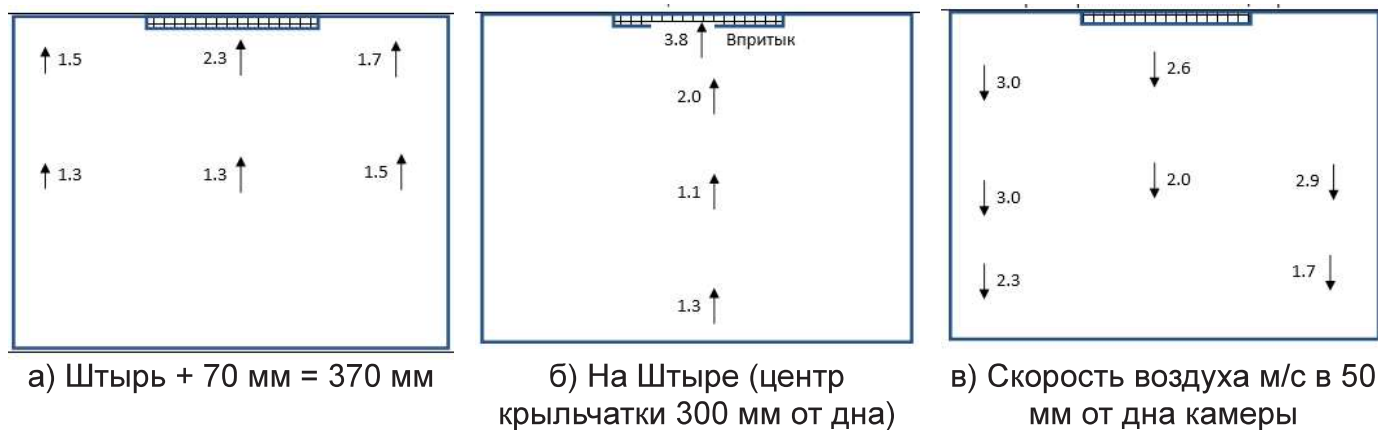


Рисунок 7 – Скорость воздуха м/с на двух верхних уровнях и дне камеры

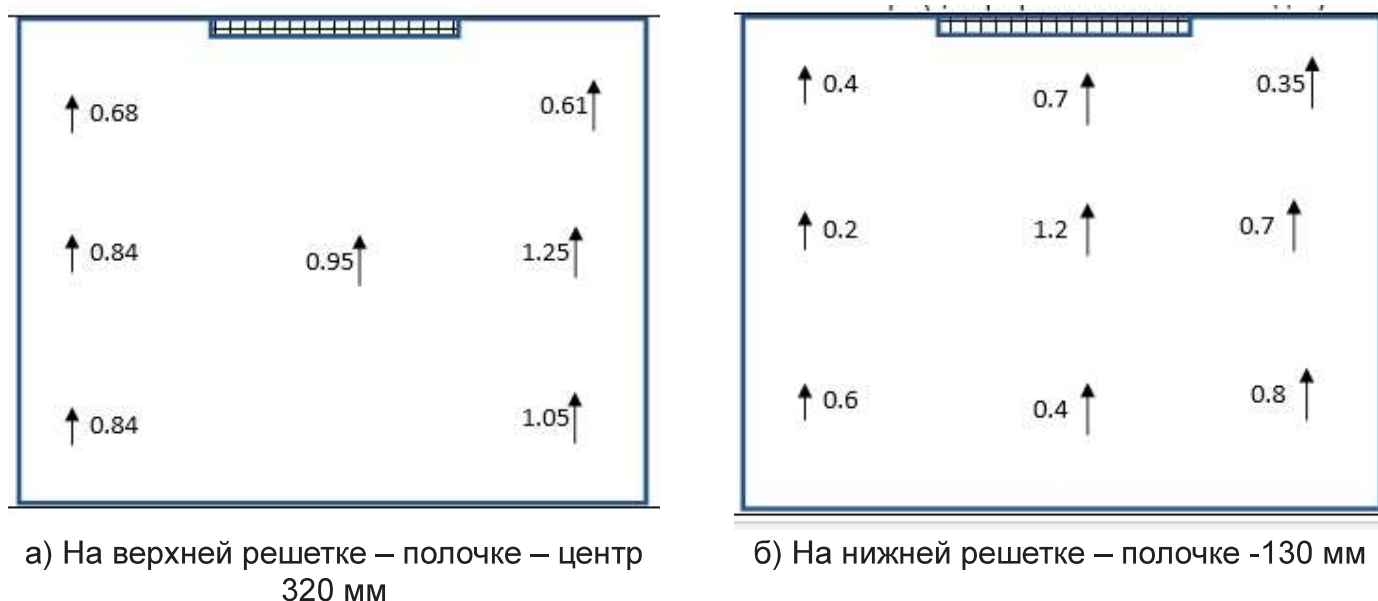


Рисунок 8 – Скорость воздуха м/с на верхней и нижней решетках

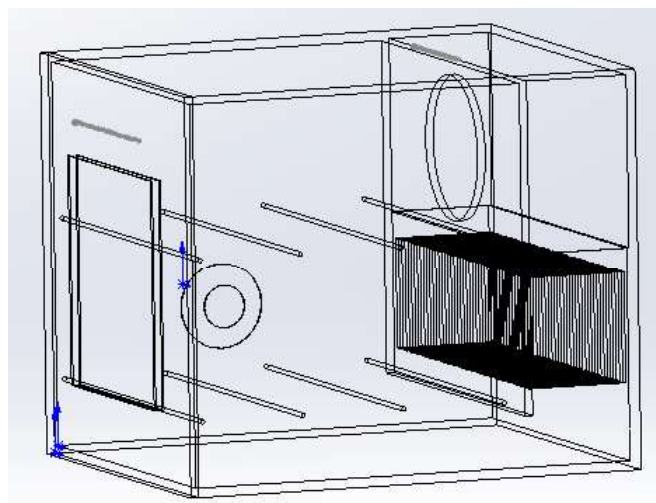
ные точки находилась на 50 мм выше соответствующих решеток.

**Выводы по эксперименту:** из анализа экспериментальных данных можно отметить, что диапазон скоростей воздуха примерно от минус 3 (прямоугольный воздухозаборник снизу) до плюс 3 м/сек (круглое отверстие под вентилятор сверху). Причем направления воздушного потока на 4 верхних уровнях положительное (к вентилятору) и на нижнем уровне на дне отрицательное к дверце камеры (или от прямоугольного нижнего воздухозабора), иными словами плоскость нулевой скорости (перемены направления) расположена в нижней части камеры.

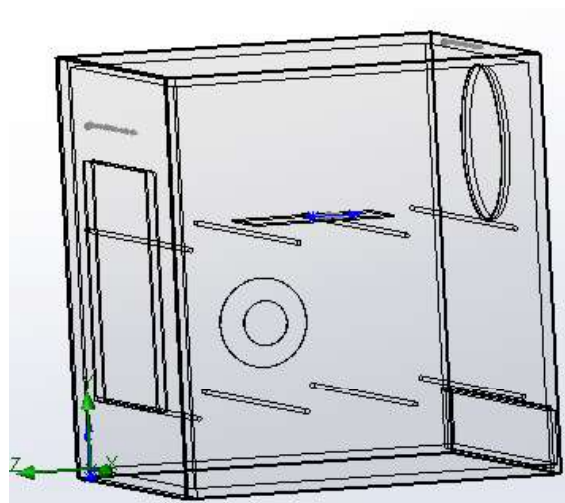
### 3 Построение аэродинамической модели и расчет скоростей

### воздуха в SOLIDWORKS Flow Simulation

Для проведение аэродинамических расчетов в CAE (ANSYS, Autodesk Simulation CFD, COMSOL Multiphysics, SW Flow Simulation, KompasFlow и др.) как в большинстве инженерных расчетов необходимо построить 3D-модель объекта расчета в соответствующей CAD-системе (SolidWorks, T-Flex, Autocad, Компас 3D и др.). Причем эта 3D-модель является обычно упрощенной относительно полной 3D-модели, т.к. много деталей, особенно мелких, которые не являются принципиальными для расчета, но, например, так усложняют построение расчетной сетки по методу конечных элементов (МКЭ), что она или не построится, или размерность выйдет за разумные пределы, и расчет не будет возможен, на-



а) полная с теплообменником



б) упрощённая без теплообменника

Рисунок 9 – 3D-модели климатической камеры

пример, по временным затратам или используемым вычислительным мощностям.

А кроме того, часто полная 3D-модель или не существует, или не доступна. Поэтому для расчета приходится создавать специальную расчетную 3D-модель в упрощенном виде, которую можно назвать стилизованной 3D-моделью [2].

В данном случае полной 3D-модели не существовало, и ее надо построить с учетом всего вышеперечисленного, т.е. с одной стороны не лезть в ненужные детали, а с другой стороны не упустить важные особенности.

Несмотря на то, что камера тепла и холода Climcontrol M-70/100-120 KTX имеет

достаточно сложную конструкцию, где собственно камера, и холодильный агрегат, и компрессор, и вентилятор, и блоки управления, с точки зрения аэродинамики нас интересует сама камера, и то, что сзади её – система теплообменника с вентилятором.

В качестве CAD-системы возьмем SOLIDWORKS, а в качестве CAE-системы Flow Simulation того же производителя – решение достаточно распространенное. Это упростит взаимодействие в рамках единой программной среды [5, 6].

На рис. 9а представлена полная 3D-модель камеры с дополнительным объёмом, где установлены вентилятор (не показан), теплообменник и упрощенная модель (см.

Кривая подбора рабочей точки Weiguang

Тип вентилятора [AC/DC]	AC переменного тока
Конструкция	Двигатель
Типоразмер [мм]	102
Уровень шума [dB/A]	50
Бренд	Weiguang
Вес [кг]	2.5
Сила тока [A]	0.65
Производительность [м3/ч]	240
Питание [В]	220
Исполнение	с внешним ротором
Частота вращения [об/мин]	1380
Мощность [кВт]	0.14



Рисунок 10 – Параметры электродвигателя Weiguang YWF-K102-4E-34



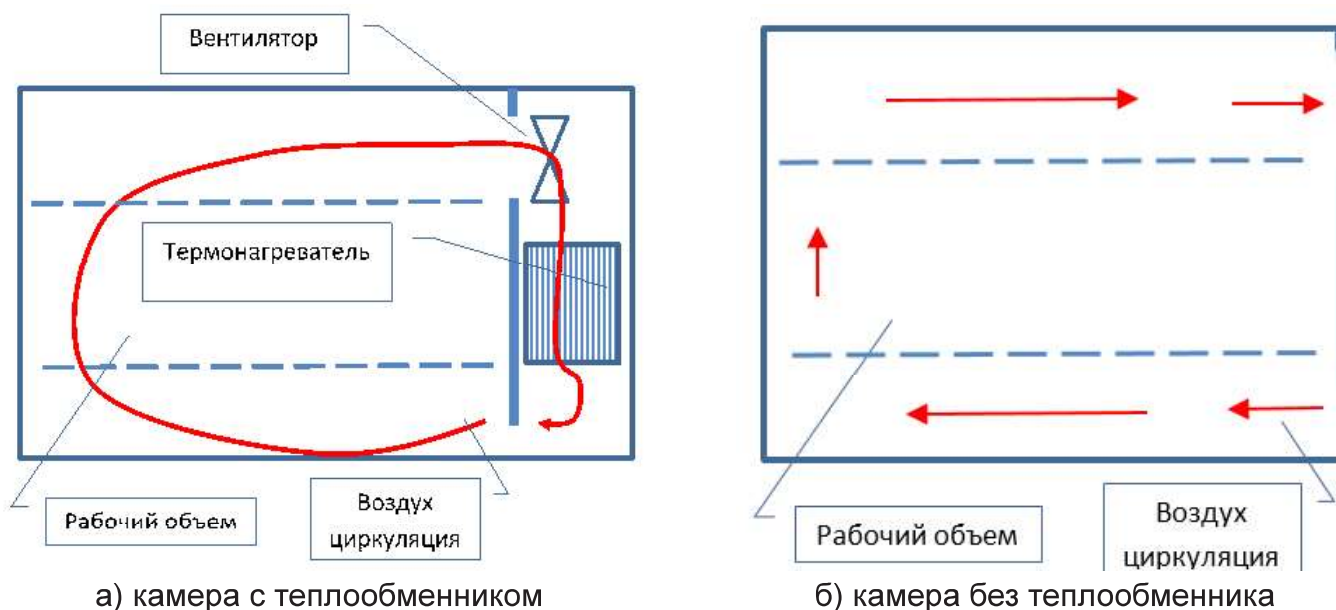


Рисунок 11 – Этапы упрощения конструкции камеры для получения расчетной модели

рис. 9б) без дополнительного объема и теплообменника, но с круглым отверстием для вентилятора (справа сверху) и прямоугольным для воздухозабора (справа снизу).

При построении расчётной аэродинамической модели камеры с теплообменником для SW Flow Simulation образуется замкнутая система. Но в SW Flow Simulation широко распространены только два вида моделей: внутренняя и внешняя. Внешняя модель – это обтекание газом/жидкостью объекта расчёта снаружи, а внутренняя модель, когда процесс происходит внутри объекта расчёта.

Вариант с теплообменником является смешанным типом, что вызывает значительные трудности. Поэтому модель надо попытаться свести к расчёту канонической внутренней или внешней модели.

Еще одной проблемой является нахождение параметров системы внутреннего продува, основой которого является электродвигатель Weiguang YWF-K102-4E-34 с внешним ротором.

И хотя параметры двигателя известны и приведены на рисунке 10, и даже известны параметры вентилятора, установленного на нем, – пяти-лопастный диаметром 150 мм. Но он является управляемым, и даже в данном варианте камеры у него минимум два режима – рабочий и проветривания, где он работает в турбо режиме. Иными словами, неизвестны конкретные параметры ре-

жима работы двигателя даже в интересующем нас рабочем режиме, т.е. невозможно определить его реальную производительность.

Полная конструкция камеры состоит из двух частей – слева собственно камера, а справа отсек с теплообменником и вентилятором. Если отсечь справа отсек с теплообменником (рисунок 11, а), то камера будет хорошо описываться аэродинамической моделью внутреннего типа, у которой есть два отверстия – круглое сверху от вентилятора и прямоугольное снизу от воздухозабора (рисунок 11, б). Необходимо определить граничные условия для этих двух отверстий.

Для круглого отверстия, за которым стоит вентилятор, зададим граничные условия SW Flow Simulation в виде «Давление окружающей среды» 1 атмосфера, 20° градусов Цельсия, направление из камеры через отверстие наружу (см. рисунок 12).

Для прямоугольного отверстия воздухозабора, через которое осуществляется подача воздуха от вентилятора, зададим граничные условия SW Flow Simulation в виде «Скорость на входе» 3 м/сек. В данном случае, оно было получено в ходе эксперимента (см. рисунок 13).

**Выводы по построению 3D геометрической и аэродинамической модели:** по документации на камеру тепла и холода Climcontrol M-70/100-120 KTX и реальным

измерениям построена геометрическая 3D-модель (SOLIDWORKS), которая дополнительно упрощена для облегчения аэродинамических расчетов с учетом имеющейся информации по ней и необходимой для расчётов детализации.

Для полученной стилизованной 3D модели построена аэродинамическая модель, подготовлены исходные данные для расчета в SW Flow Simulation.

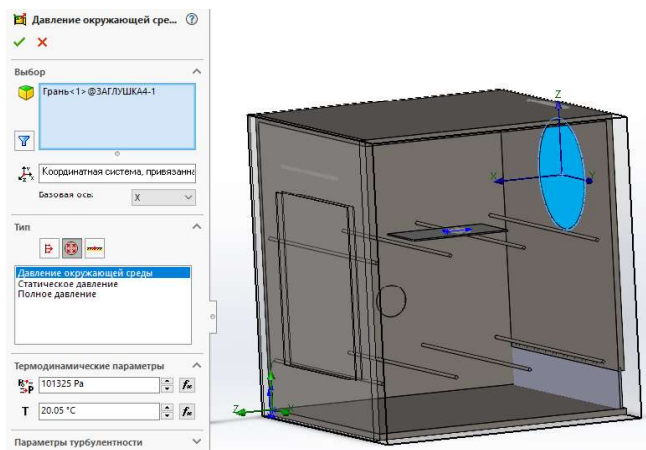


Рисунок 12 – Граничные условия SW Flow Simulation для круглого отверстия

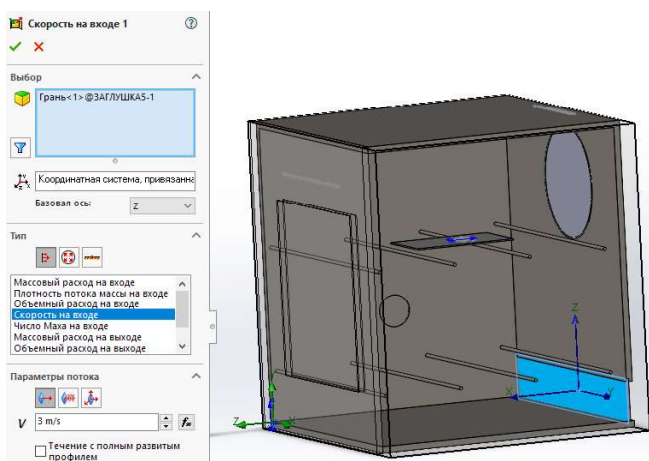


Рисунок 13 – Граничные условия SW Flow Simulation для прямоугольного воздухозабора

#### 4 Анализ и сравнение экспериментальных и расчетных результатов

Проанализируем результаты аэродинамического расчёта в SW Flow Simulation и сравним их с результатами эксперимента. Результаты моделирования можно представить в различном удобном для анализа

виде. Оси координат – влево ось Z, вверх ось Y, ортогональный ось X (см. рисунок 14).

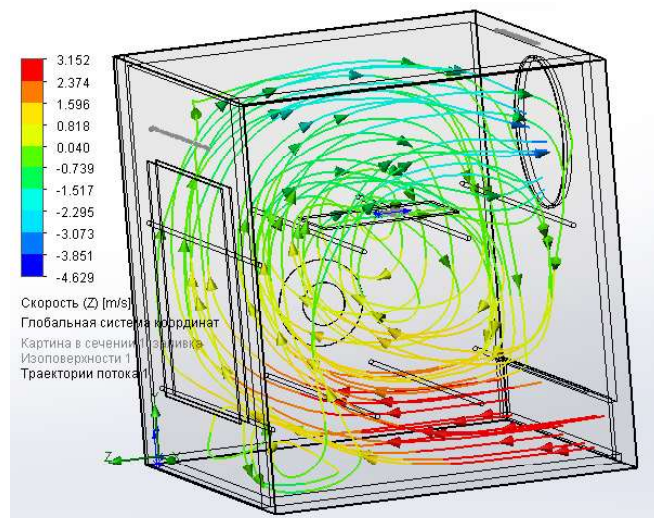


Рисунок 14 – Результаты моделирования в виде «Траектория потока»

Наиболее общие результаты можно представить в виде «Траектория потока» (см. рисунок 14), где линии – это траектория потока, стрелочки -направление движения потока, а по цветной легенде можно оценить скорость потока.

Для наглядности представим результат как «Картинки в сечении» (см. рисунок 15) в плоскости Z0Y посередине корпуса.

Для наглядности далее для каждого горизонтального слоя на одном рисунке будут сведены экспериментальные и расчётные данные с указанием, для какой высоты горизонтального слоя они были получены (см. рисунок 16).

Это самый высокий горизонтальный слой (см. рисунок 16), с центром на высоте 370 мм. В эксперименте и в моделировании видно справа в середине область высокой скорости (в модели синее пятно) – это засасывающее круглое отверстие вентилятора. Тут необходимо отметить, что измерить скорость собственно в этом отверстии невозможно в силу конечного размера измерителя скорости  $\varnothing 100$  мм на 40 мм. А расчётным путем это сделать возможно. Этим и объясняются некоторые расхождения результатов (2.3 м/с эксперимент и 3.2 м/с моделирование).

Это рабочее положение камеры, когда испытуемый объект лежит на верхней ре-



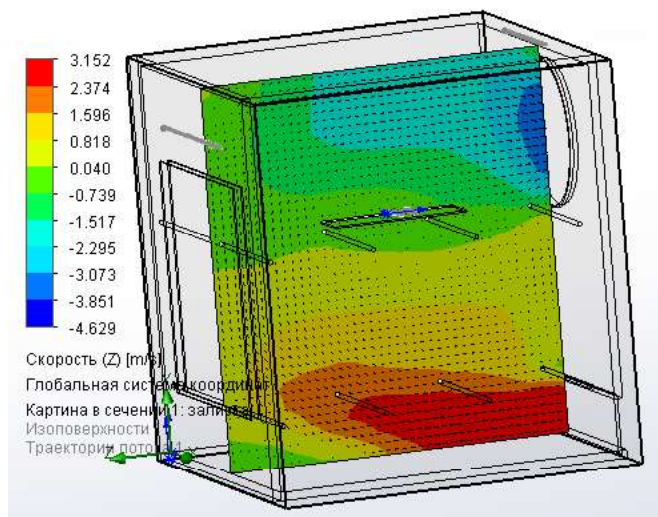


Рисунок 15 – Результаты моделирования в виде «Картинки в сечении» в среднем сечении плоскости Z0Y

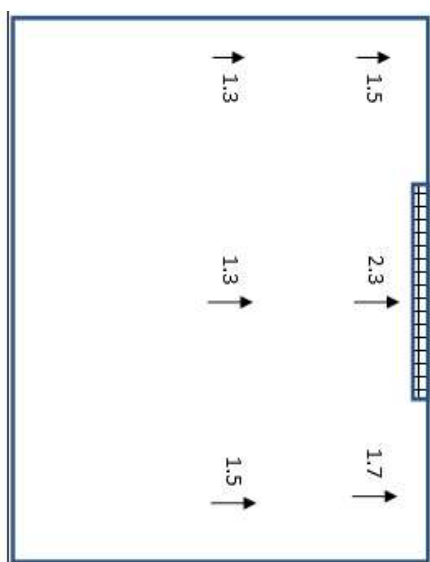


Рисунок 16 – Сравнение экспериментальных и расчетных значений скорости воздуха на высоте 370 мм от дна камеры

шетке камеры. Достаточно спокойная область, почти «застойная» область (см. рисунок 17).

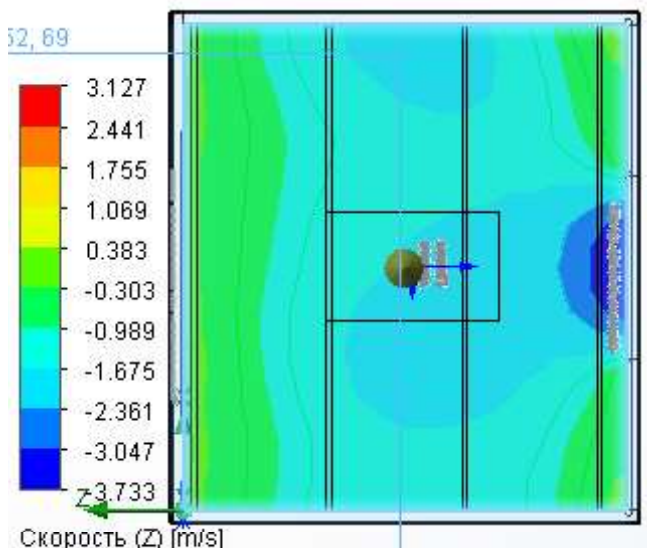
В этом варианте измеритель ставился на ручку, и его центр находился на высоте 300 мм от дна и примерно совпадал с центром вентиляторной решетки. Здесь экспериментально рядом с круглой решеткой была получена самая высокая скорость – 3.8 м/с (см. рисунок 18).

Следующее рабочее положение камеры, когда объект лежит на нижней решетке камеры (130 мм от дна). Вторая достаточно спокойная область смены направления потока воздуха. Тут экспериментально была измерена самая низкая скорость 0.2 м/с

(см. рисунок 19).

Это единственная область, где экспериментально была получена высокая скорость в противоположном другим слоям направлениям. Экспериментально это достаточно тонкая область, но при моделировании она получилась толще (см. рисунок 20).

**Выводы по анализу и сравнению:** в камере есть два ярко выраженных разнонаправленных высокоскоростных слоя сверху и снизу и некая серединная область, где достаточно высокие расхождения между экспериментом и моделированием, как по величине скорости, так и по направлению. Это надо учитывать при проведении климатических испытаний – насколько критична



эта неравномерность скоростей воздушного потока.

Если это критично, то можно рекомендовать добавить снизу в воздухозаборнике рассекающую решетку, которая будет дополнительно перемешивать воздушный поток. Очевидно, что между скоростью и равномерностью потока надо делать выбор в сторону равномерности. Иначе будет сильно различаться тепловой режим испытуемого изделия в зависимости от места его установки в камере.

**Заключение**

Проведено экспериментальное исследование

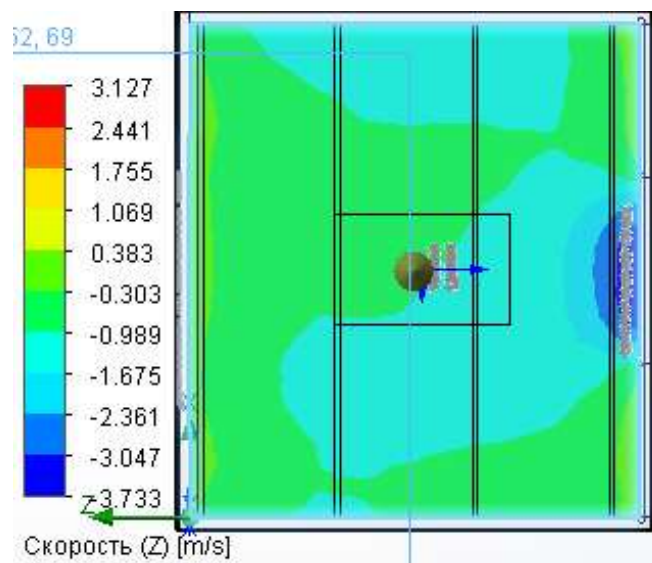
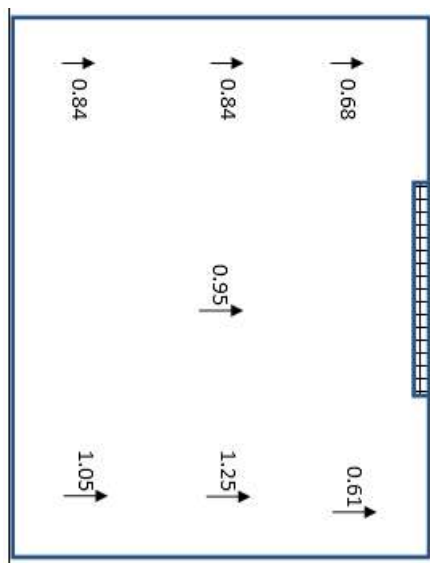


Рисунок 17 – Сравнение экспериментальных и расчетных значений скорости воздуха на верхней решетке (на высоте 320 мм от дна камеры)

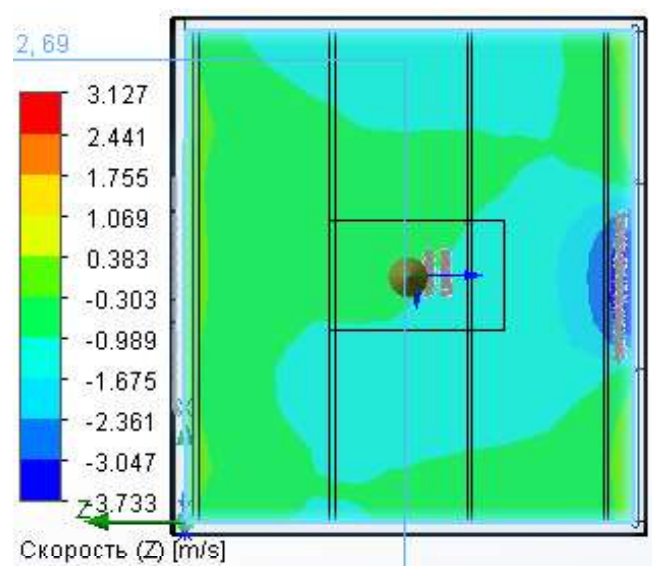
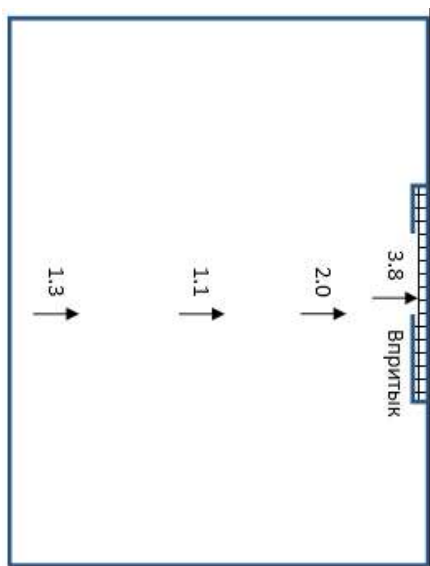


Рисунок 18 – Сравнение экспериментальных и расчётных значений скорости воздуха на высоте 300 мм от дна камеры

дование аэродинамического режима климатической камеры тепла и холода Climcontrol M-70/100-120 КТХ. Построена геометрическая 3D-модель, которая доработана для расчёта аэродинамического режима. Построена модель аэродинамического режима и проведено моделирование SW Flow Simulation. Проведен анализ и сравнение экспериментальных и расчётных значений скорости воздуха, и даны некоторые рекомендации по использованию камеры. В каждом разделе сделаны выводы по эксперименту, по построению 3D геометрической и аэродинамической модели, по анализу и сравнению.

### Библиография

[1] ГОСТ Р 70201-2022. Системы автоматизированного проектирования электроники. Оптимальное сочетание натуральных и виртуальных испытаний электроники на надежность и внешние воздействующие факторы. Требования и порядок проведения при выполнении технического задания на НИОКР

[2] Манохин А. И. Исследование тепловых режимов радиоаппаратуры с помощью вычислительного эксперимента // В кн.: Современные проблемы радиоэлектроники. Сборник научных трудов / Под общ. ред.

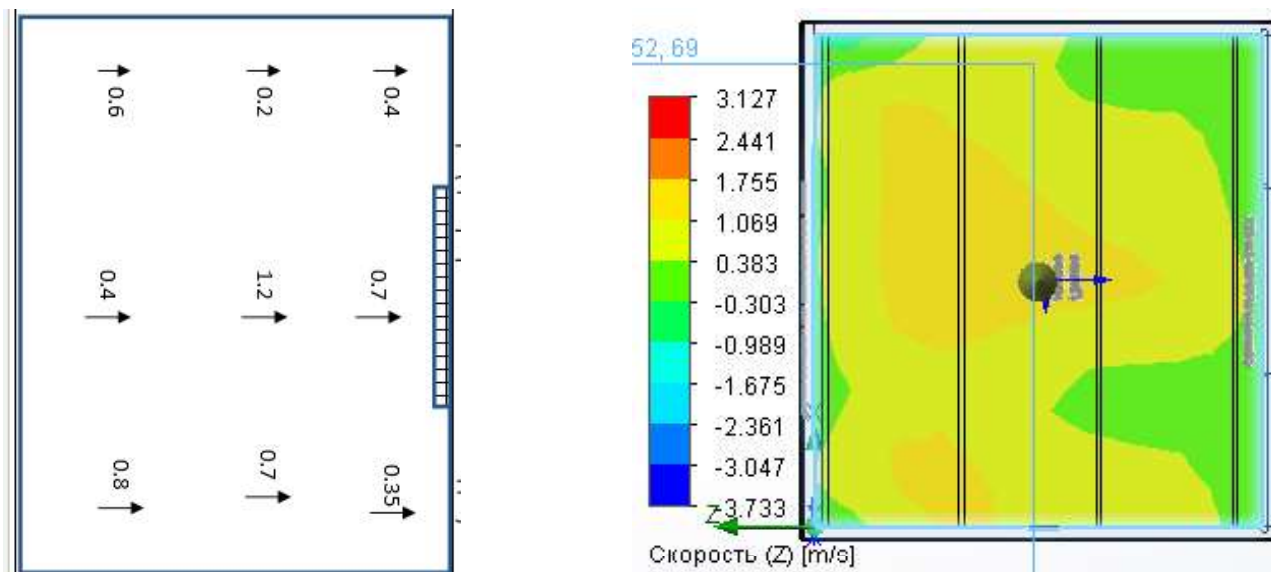


Рисунок 19 – Сравнение экспериментальных и расчетных значений скорости воздуха на нижней решетке (высота 130 мм от дна камеры)

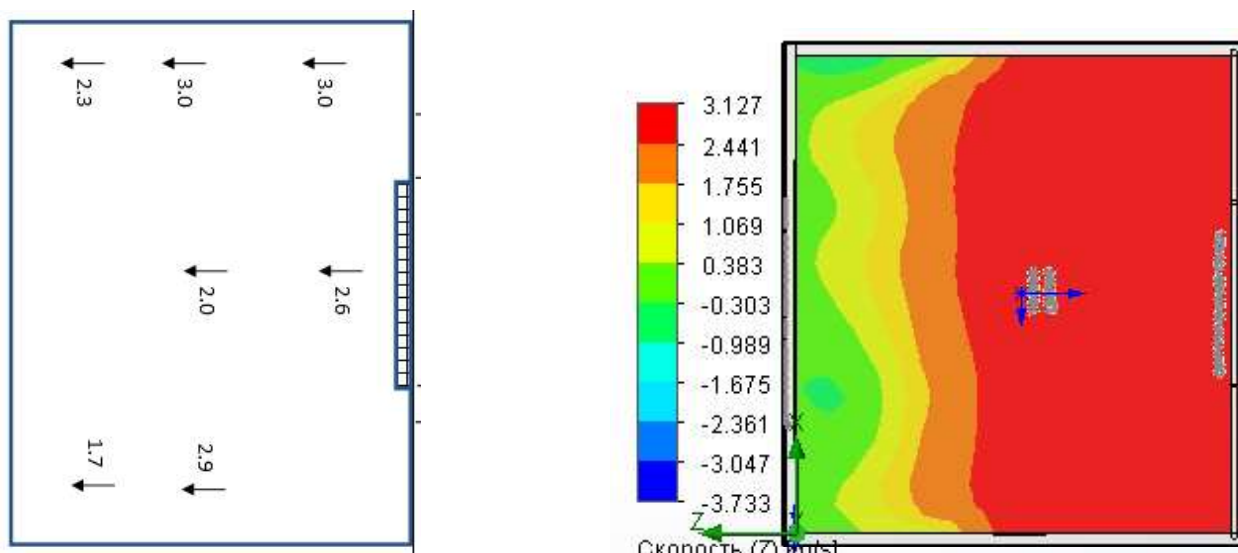


Рисунок 20 – Сравнение экспериментальных и расчётных значений скорости воздуха на дне камеры (50 мм от дна камеры)

А. В. Сарафанова. Красноярск: КГТУ им. Некрасова, 2003. С. 505-511

[3] Испытательная Климатическая камера Climcontrol M-70/100-120 КТХ. Режим доступа: <https://miroborudovaniya.ru/product/ispitatelnaya-klimaticheskaya-kamera-climcontrol-m-70-100-120-kth/> (дата обращения 04.09.2023)

[4] Testo 440 – Прибор для измерения скорости и оценки качества воздуха в поме-

щении. Режим доступа: <https://www.testo.ru/ru-RU/testo-440/p/0560-4401> (дата обращения 04.09.2023)

[5] Алямовский Андрей. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи, СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 445 с.

[6] Technical reference. Solidworks Flow Simulation 2020; Tutorials. Solidworks Flow Simulation 2020; Validation examples. Solidworks Flow Simulation 2020

- Выход 4-го номера журнала «САПР электроники» планируется 10 декабря 2023 года.
- Крайний срок подачи статей в 4-й номер: 1 декабря 2023 года.
- Материалы статей в свободной форме направляются по электронной почте SAPReletroniki@mail.ru

#### **ПОДПИСКА**

Желающие регулярно получать на свою электронную почту уведомления о выходе очередного номера журнала направляют простое письмо по электронной почте SAPReletroniki@mail.ru

Тема письма: Подписка

В тексте письма: Хочу подписаться на журнал «САПР электроники».

Ф.И.О., место работы и должность, электронная почта.

Все номера журнала находятся в свободном доступе на официальном сайте журнала:

<https://asonika-online.ru/journal/>

Там же размещена более подробная информация о журнале.