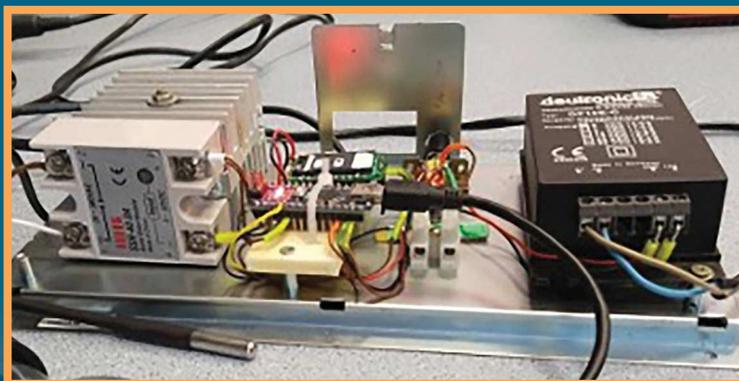


ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

*Материалы Всероссийской научно-технической конференции
(30—31 мая 2024 г., Петрозаводск)*



Содержание

- © Шарлаев А. С., Березина О. Я., Ларионов Д. Н., Праслов Н. А.
Катодные материалы литий-ионных аккумуляторов на основе оксидов ванадия 5
- © Тихомиров А. А., Изотов А. А., Величко А. А.
Применение нейронной сети Lognet для определения повреждений
в электрических сетях с изолированной нейтралью 10
- © Гасан И. С., Семенов А. В.
Детектирование объектов и ключевых точек объектов, движущихся на конвейере,
с помощью умной камеры Oak-d-рое 13
- © Мощевикин А. П., Соловьев А. В.
Макет ЧПУ-станка для обучения основам числового программного управления 16
- © Ершова Н. Ю.
Основы вычислительных систем для энергетиков 20
- © Венгеровская М. С., Борисов Н. И., Ершова Н. Ю.
Разработка автоматизированной мини-теплицы 24
- © Назаров А. И., Мошкина Е. В.
Использование онлайн-курса по физике для подготовки инженерных кадров 27
- © Акпаев Н. А., Валиуллин К. Р.
Анализ способов построения цифровых подстанций, их достоинств и недостатков 32
- © Манохин А. И.
Методика расчета величины коэффициента конвективной теплоотдачи с помощью
программы автоматизированного моделирования тепловых процессов РЭА 37
- © Манохин А. И., Полесский С. Н.
Аэродинамическое исследование камер тепла и холода 43
- © Щирый А. О.
Использование опыта разработки отечественной САПР РЛС при создании
многоагентной среды моделирования радиотехнических систем 50
- © Башарин А. В., Башарина Е. А.
Разработка блока дистанционного (с помощью SMS) и местного управления
нагрузкой (отопителем) с использованием Arduino Nano 54
- © Учаев В. С., Зирюкин В. И., Климов К. С., Митрохин П. М., Расторгуев М. И.
Диагностика систем возбуждения синхронных генераторов в замкнутом контуре
с использованием HARDWARE-IN-THE-LOOP систем 61

Аэродинамическое исследование камер тепла и холода

Аннотация. В исследовании изучаются аэродинамические характеристики камеры тепла и холода ESPEC MC-812R. В SOLIDWORKS создана трехмерная модель камеры, на основе которой разработана аэродинамическая модель. С использованием SOLIDWORKS Flow Simulation выполнено моделирование аэродинамического процесса. Проведено сравнение экспериментальных и расчетных данных, сделаны выводы о применимости расчетной аэродинамической модели и проведено сравнение с ранее исследованной камерой Climcontrol M-70/100-120. Также предложен общий подход к исследованию и созданию аэродинамических моделей камер тепла и холода.

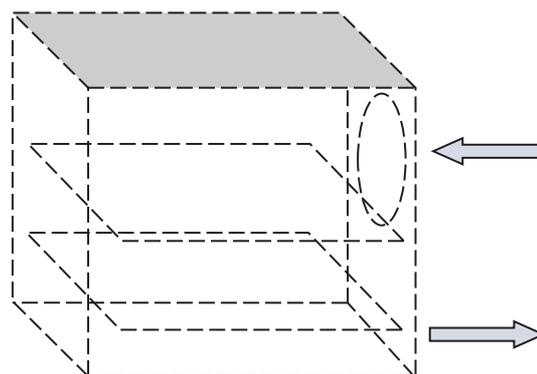
Ключевые слова: камера тепла и холода, CAD-система, CAE-система, SOLIDWORKS Flow Simulation, аэродинамика, анемометр, тепловой режим.

Объект исследования

В климатических испытаниях аппаратуры на надежность часто используются специальные камеры тепла и холода (КТХ), например, отечественная камера Climcontrol M-70/100-120 или японская ESPEC MC-812R [3]. Камера Climcontrol была подробно исследована ранее в [1]. Проанализируем камеру ESPEC MC-812R (рис. 1, 1).



1. Внешний вид камеры



2. Аэродинамическая схема камеры

Рис. 1. Камера тепла и холода ESPEC MC-812R

Схема продува воздуха (рис. 1, 2) — воздух подается в камеру (400×400×420 мм) вентилятором через круглое верхнее отверстие (Ø 150 мм) справа, проходит по камере и через нижнюю щель (360×26 мм) справа отводится в термостатирующий теплообменник (не показан) поднимается вверх и опять вентилятором подается в камеру.

На лицевой панели ESPEC есть монитор с цифровой индикацией температуры окружающей среды и температуры воздуха внутри камеры.

Экспериментальное исследование

Согласно предыдущим исследованиям камеры Climcontrol M-70/100-120, основным параметром, который необходимо контролировать, является скорость воздушного потока на входе в камеру. Однако в документации к камере не указана точная величина этого параметра, и даже знание типа вентилятора не дает информации о том, какой поток он создает, так как режим его работы остается неизвестным.

Знание этого потока позволяет построить аэродинамическую модель камеры с определением большинства параметров потока, как это было показано в предыдущем исследовании [1].

Для измерения скорости опять используем прибор для измерения скорости воздуха Testo 440 с внешним монитором (анемометр). Температура воздуха внутри и снаружи камеры контролируется датчиками самой камеры. Она же автоматически поддерживает заданную температуру воздуха внутри камеры.

Так как основное исследование касалось скорости воздуха, то была установлена заданная температура, равная температуре окружающей среды 20 °С, чтобы не тратить время на нагрев-охлаждение внутренностей камеры.

Как показали измерения, вследствие меньшей скорости воздуха и меньшего объема, чем у камеры Climcontrol, и большого размера крыльчатки измерительного зонда, он дает нестабильные показания внутри камеры, т. к. отчасти и сам является препятствием для потока. Таким образом, в данном опыте ограничимся измерением скорости воздуха от вентилятора на входе в камеру, которое составило 1.5 м/с.

Очевидно, что данное измерение проводилось при практически пустой камере, так как наличие препятствий в виде объекта испытаний сильно бы изменило картину распределения теплового потока и затруднило бы его измерения и сравнение результатов в разных камерах.

Построение аэродинамической модели камеры тепла и холода ESPEC и ее исследование в SOLIDWORKS Flow Simulation

Общие принципы построения аэродинамической модели были ранее показаны на примере исследования камеры Climcontrol M-70/100-120 KTX [1]. Более подробно см. [4; 5].

Как и в случае с той камерой для ESPEC, в SOLIDWORKS была создана стилизованная 3D-модель, которую потом использовали для проведения аэродинамического моделирования в SOLIDWORKS Flow Simulation (SW FS). Под стилизованной 3D-моделью понимается упрощенная модель, в которой опущены второстепенные конструктивные детали, не влияющие на точность получаемых расчетов [2]. Обычно в САД-системах есть встроенные механизмы такого упрощения, но, как показывает практика, они не дают должного эффекта по вполне очевидной причине трудности нахождения компромисса между упрощением и необходимой детализацией.

Как и в предыдущем случае с камерой Climcontrol, была проведено упрощение 3D-модели — только камера без теплообменника и прочих вспомогательных элементов.

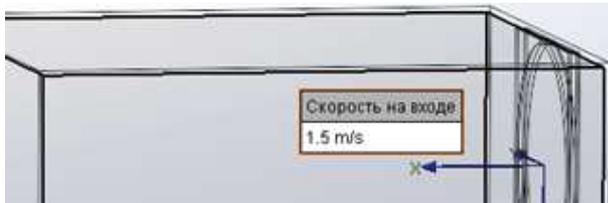
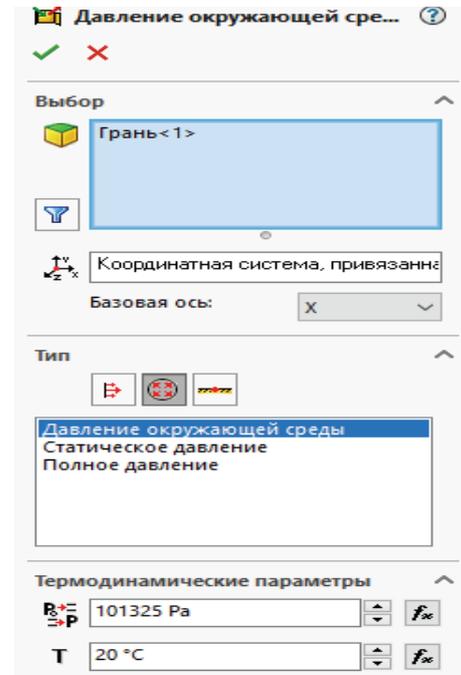
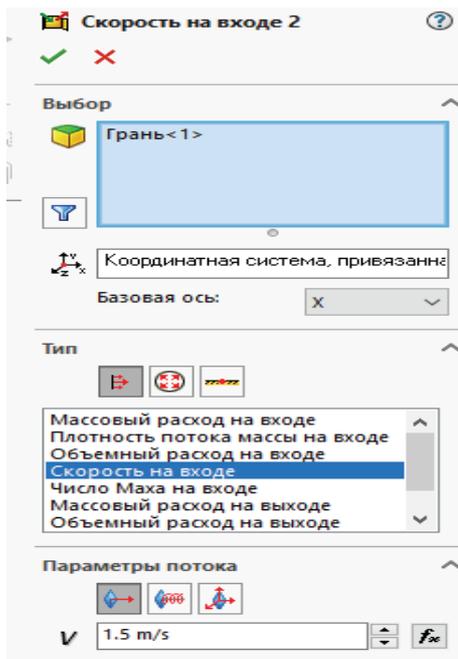
При создании расчетной аэродинамической модели камеры с теплообменником для SW FS мы снова использовали внутреннюю аэродинамическую модель с двумя отверстиями: круглым сверху от вентилятора и прямоугольным снизу для выхода воздуха (рис. 2). Необходимо задать граничные условия для этих двух отверстий.

Для круглого отверстия, за которым стоит вентилятор, зададим граничные условия SW FS в виде «Скорость на входе» 1.5 м/с, в направлении во внутрь камеры, температура 20 °С.

Для прямоугольной щели внизу, через которую происходит выдув воздуха из камеры, установим граничные условия SW FS: давление окружающей среды — 1 атмосфера, направление — наружу из камеры, температура — 20 °С.

Результаты моделирования можно визуализировать разными способами, удобными для анализа. При этом оси координат расположены справа налево — ось X, вверх — ось Z, назад — ось Y (рис. 3—9).

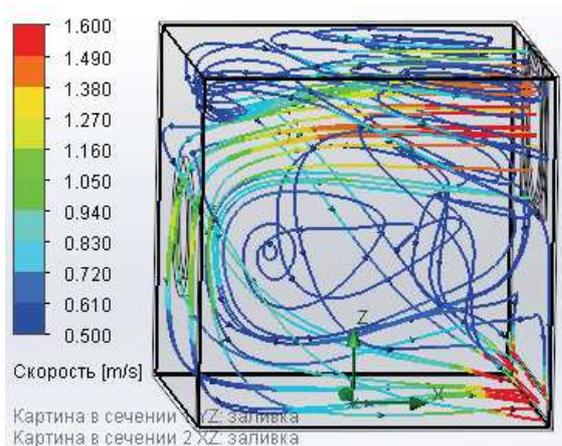
Наиболее общие результаты можно представить в виде «Траектория потока» (рис. 3), где линии — это траектория потока, а стрелочки — направление движения потока, а по цветной легенде (шкала с цифрами) можно оценить скорость потока.



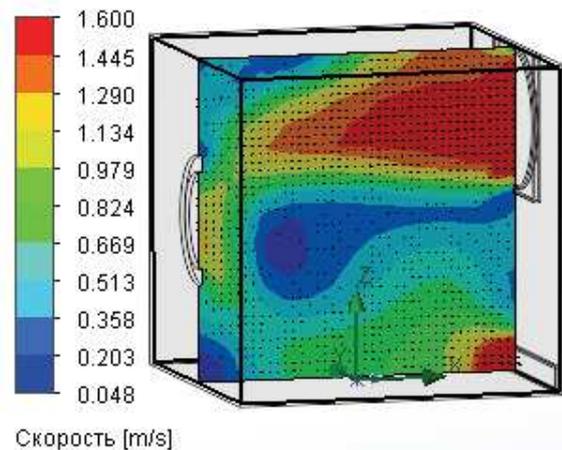
1. Граничные условия вентилятора — «Скорость на входе» — 1.5 м/с

2. Граничные условия щели «Давление окружающей среды» — 1 атм., 20 °С

Рис. 2. Задание граничных условий камеры в SW FS



1. «Траектория потока»



2. «Картинки в сечении»

Рис. 3. Результаты моделирования, представленные в виде траекторий и сечений в плоскости ZOX

В «Траектории потока» (рис. 3, 1) хорошо видно: вверху поток идет справа-налево, а внизу слева-направо, а в середине — область турбулентности.

Более детально картину потока можно представить в виде «Картинки в сечении». Очевидно, в более узком диапазоне скоростей «Картинка в сечении» более информативна.

Из этого представления видно, что наиболее высокие скорости потока (красный цвет) вверху напротив вентилятора и внизу у щели, где происходит забор воздуха из камеры. В середине камеры находится «застойная» область (синий цвет).

Изменяя диапазон легенды, можно получать более подробно результаты в разных диапазонах, например, детальней исследовать застойную зону (см. рис. 4).

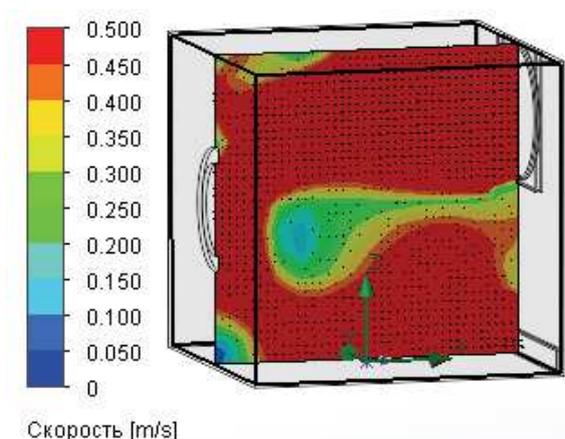


Рис. 4. Результаты моделирования в нижнем диапазоне скоростей

Результат моделирования в нижнем диапазоне скоростей 0—0.5 м/с для «застойной» зоны в виде «Картинки в сечении» в среднем сечении камеры в плоскости X0Z.

Для наглядности представим результат «Картинки в сечении» (см. рис. 5) — в плоскости Z0Y и X0Y.

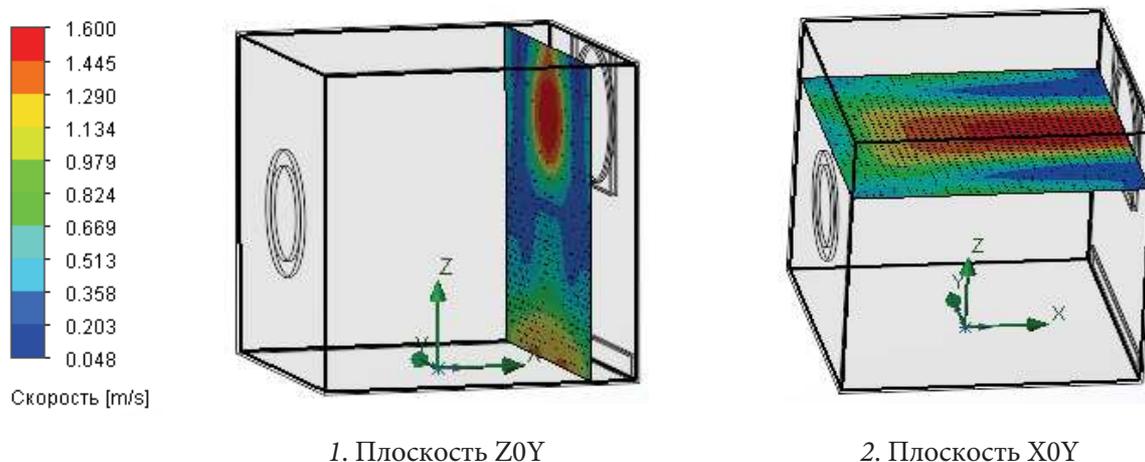


Рис. 5. Результаты моделирования в виде «Картинки в сечении» в плоскостях: Z0Y и X0Y

В сечении хорошо видны области напротив вентилятора и щели повышенной скорости потока и пониженной скорости в «застойных» областях.

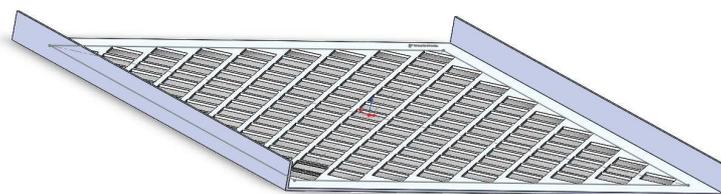


Рис. 6. Решетка для КТХ

Если все предыдущие исследования проводились в пустой камере, то теперь добавим горизонтальную решетку (рис. 6), которую иногда используют для размещения испытуемых приборов.

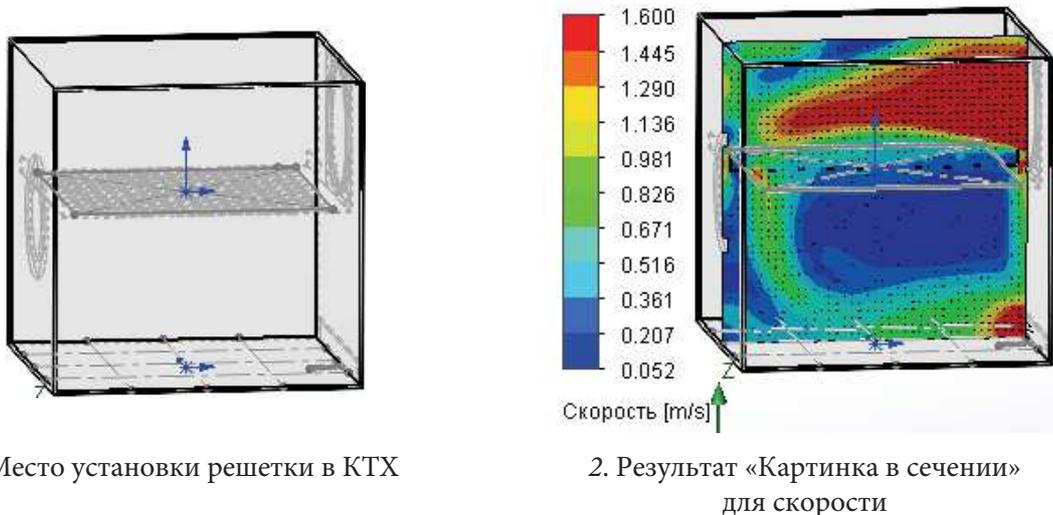


Рис. 7. КТХ с решеткой. Конструкция и результаты

При сравнении сечения результата с решеткой (рис. 7, 2) и без решетки (рис. 3, 2) видна более четкая граница раздела между скоростной и застойной зоной, но не более того, что обусловлена тем, что решетка стоит вдоль основных линий тока воздуха и не сильно препятствует ему.

Сравнение аэродинамических моделей камер Climcontrol M-70/100-120 КТХ и ESPEC MC-812R

Внутренние области камер имеют следующие размеры:

1. Climcontrol M-70/100-120 КТХ — внутренний габарит 470×470×420 мм, выдув Ø 170 мм, вдув 450×60 мм;

2. ESPEC MC-812R — внутренний габарит 400×400×400 мм, вдув Ø 170 мм, выдув 360×26 мм.

Камеры КТХ оснащены различными аэродинамическими схемами продувки, как показано на рисунке 8 (вид спереди).

В Climcontrol (рис. 8, 1) приток воздуха 3 м/с через щель снизу сзади, а выходит через круглое отверстие сверху, за решеткой которого расположен вытяжной вентилятор, поток которого сзади проходит через теплообменник и подается к нижней щели опять в камеру.

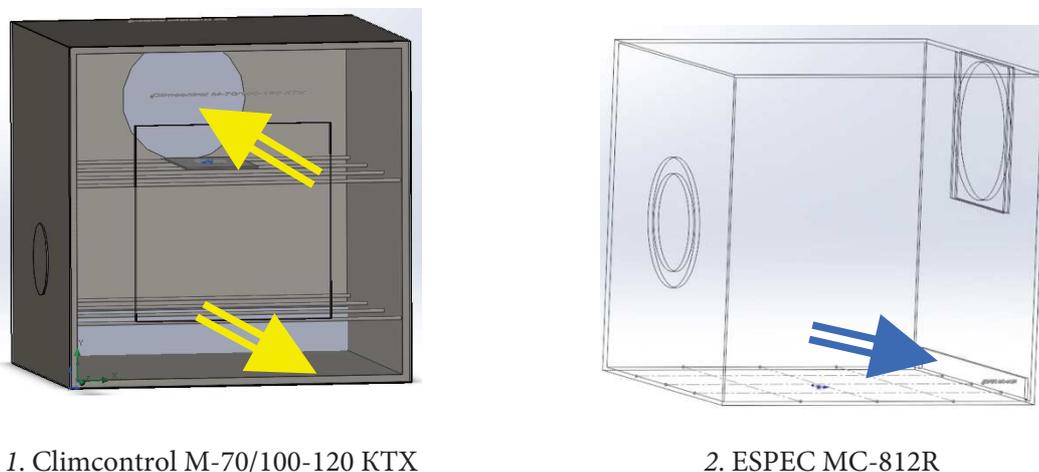
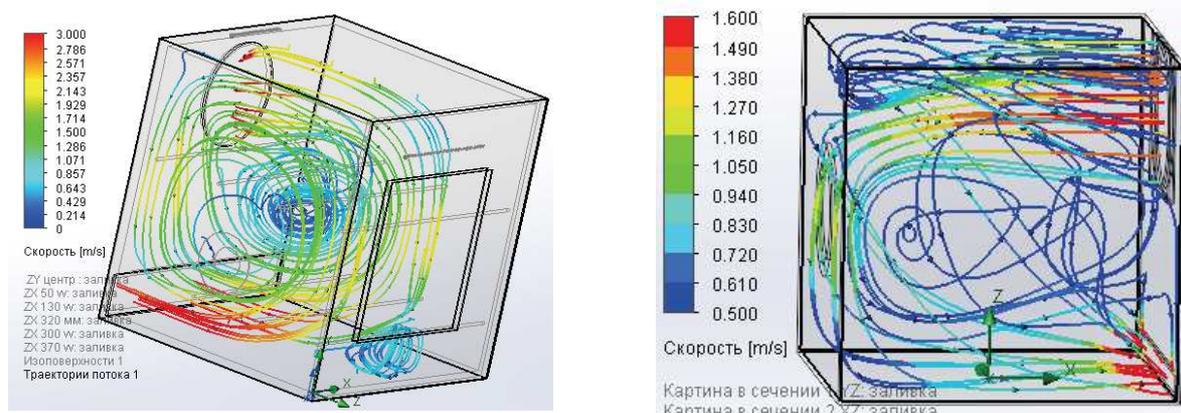


Рис. 8. Граничные условия камер при температуре окружающей среды 20 °С

В ESPEC (рис. 8, 2) через круглое отверстие сбоку справа сверху — приток воздуха 1.5 м/с и выходит через щель справа снизу, и через теплообменник подается сверху опять в камеру.

Обе камеры используют одинаковые граничные условия: давление окружающей среды 1 атмосфера и температуру 20 °С. Однако форма выдува различается: одна камера имеет отверстие, а другая — щель.

Наиболее информативное представление результатов моделирования для сравнения будет в виде «Траектория потока» (см. рис. 8), где видна скорость и направление потоков и их траектории.



1. Climcontrol M-70/100-120 KTX

2. ESPEC MC-812R

Рис. 9. Результаты моделирования в виде «Траектория потока» для обеих камер

У обеих камер наиболее проблемные зоны находятся напротив отверстий для подачи и отвода воздуха. В центре камеры наблюдаются застойные области. Небольшие неравномерные участки можно пока игнорировать, так как они могут значительно измениться или исчезнуть при добавлении испытуемого объекта.

Выводы

В результате проведенных экспериментов и расчетов были разработаны аэродинамические модели двух конфигураций КТХ. Принципы, которые применялись при их создании, обеспечивают легкую адаптацию этих моделей для различных видов и типов КТХ.

Основной вывод заключается в том, что на этапе экспериментального анализа требуется определить скорость воздушного потока, поступающего через отверстие, чтобы задать параметры аэродинамической модели. Для второго выпускного отверстия достаточно установить нормальное давление окружающей среды.

Расчет притока воздуха через параметры приточного вентилятора системы термостатирования затруднен, так как обычно неизвестно, какой тип вентилятора используется и в каком режиме он работает.

Иными словами, для построения аэродинамической модели, необходимо знание конструкции КТХ, построение ее стилизованной 3D-модели и экспериментальное измерение скорости входящего потока. Это позволит вычислительным экспериментом получить большую часть дополнительной необходимой для исследований информации. В частности, моделировать уже не пустые, а отчасти заполненные КТХ, в которых стоят испытуемые объекты.

Список литературы

1. Манохин А. И. Исследование аэродинамического режима камеры тепла и холода / А. И. Манохин, С. Н. Полесский // САПР электроники. — 2023. — № 3 (3). — С. 93—103.

2. Манохин А. И. Исследование тепловых режимов радиоаппаратуры с помощью вычислительного эксперимента / А. И. Манохин // Современные проблемы радиоэлектроники : сб. науч. трудов / под общ. ред. А. В. Сарафанова. — Красноярск : КГТУ им. Некрасова, 2003. — С. 505—511.

3. Камера тепла-холода MC-812R. — URL: https://est-smt.ru/katalog/ispytatelnye-kamery?product_id=55 (дата обращения: 04.05.2024).

4. Technical reference. Solidworks Flow Simulation. — URL: <https://www.cati.com/wp-content/uploads/2021/04/swflow2021-technical-reference.pdf> (дата обращения: 04.05.2024).

5. Simulation of air flow in cold chambers using the openfoam® computational fluid dynamics (CFD) software/ Jose de Castro Silva, Barbara Janet Teruel Mederos* and Luiz Antonio Rossi. — URL: https://academicjournals.org/article/article1388398200_Silva%20et%20al.pdf (дата обращения: 04.05.2024).