

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

# ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 47-DC/CFD

Объект испытаний: Серверный шкаф конструкции DC  
(высоконагруженная архитектура)

Суммарная тепловая нагрузка: 25 кВт

Метод валидации: Численное моделирование  
газодинамических и тепловых процессов (CFD)

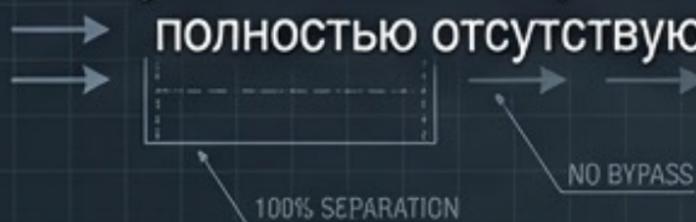


# Ключевые результаты тестирования



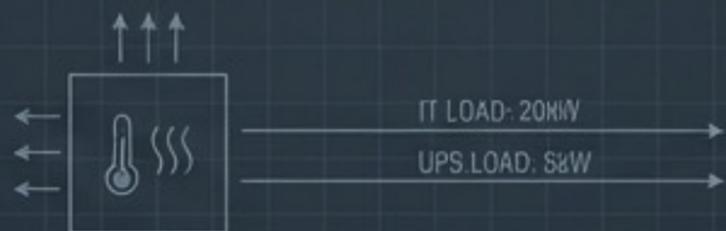
## Изоляция потоков

Конструкция DC обеспечивает 100% физическое разделение воздушных масс. Паразитные утечки и байпасирование полностью отсутствуют.



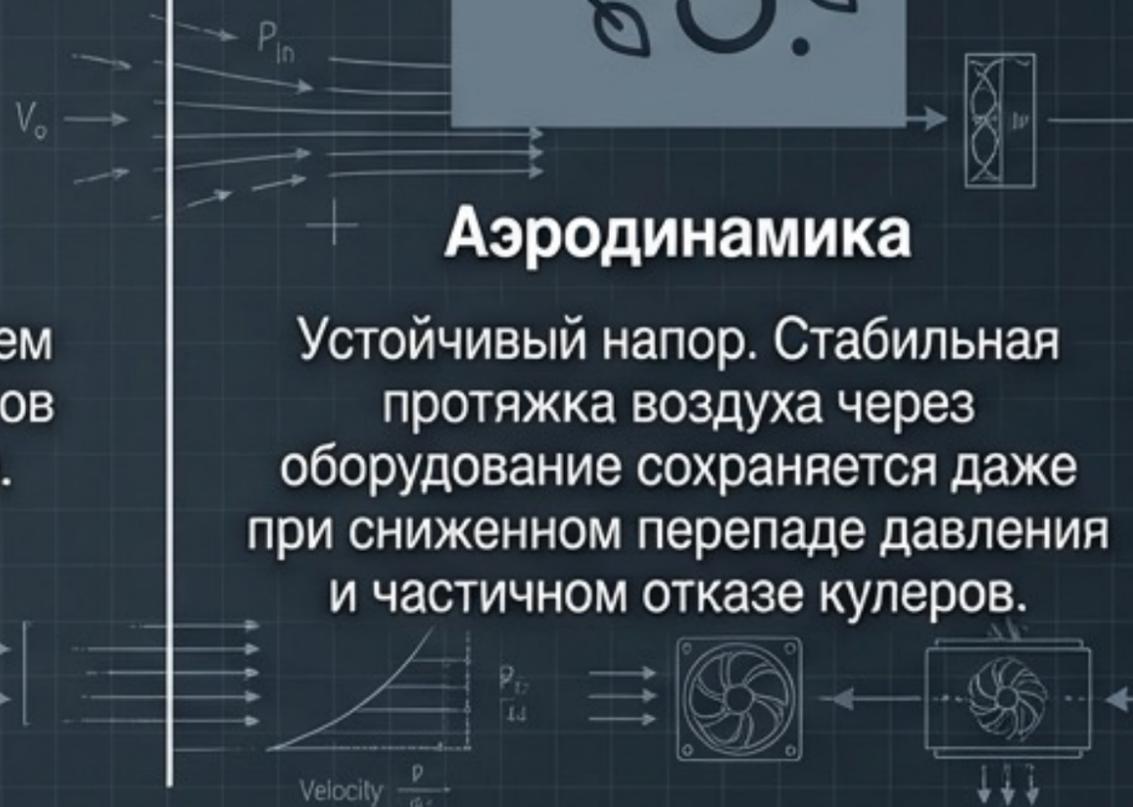
## Теплоотвод (25 кВт)

Успешный и равномерный съем тепла от вычислительных узлов (20 кВт) и блока ИБП (5 кВт).



## Аэродинамика

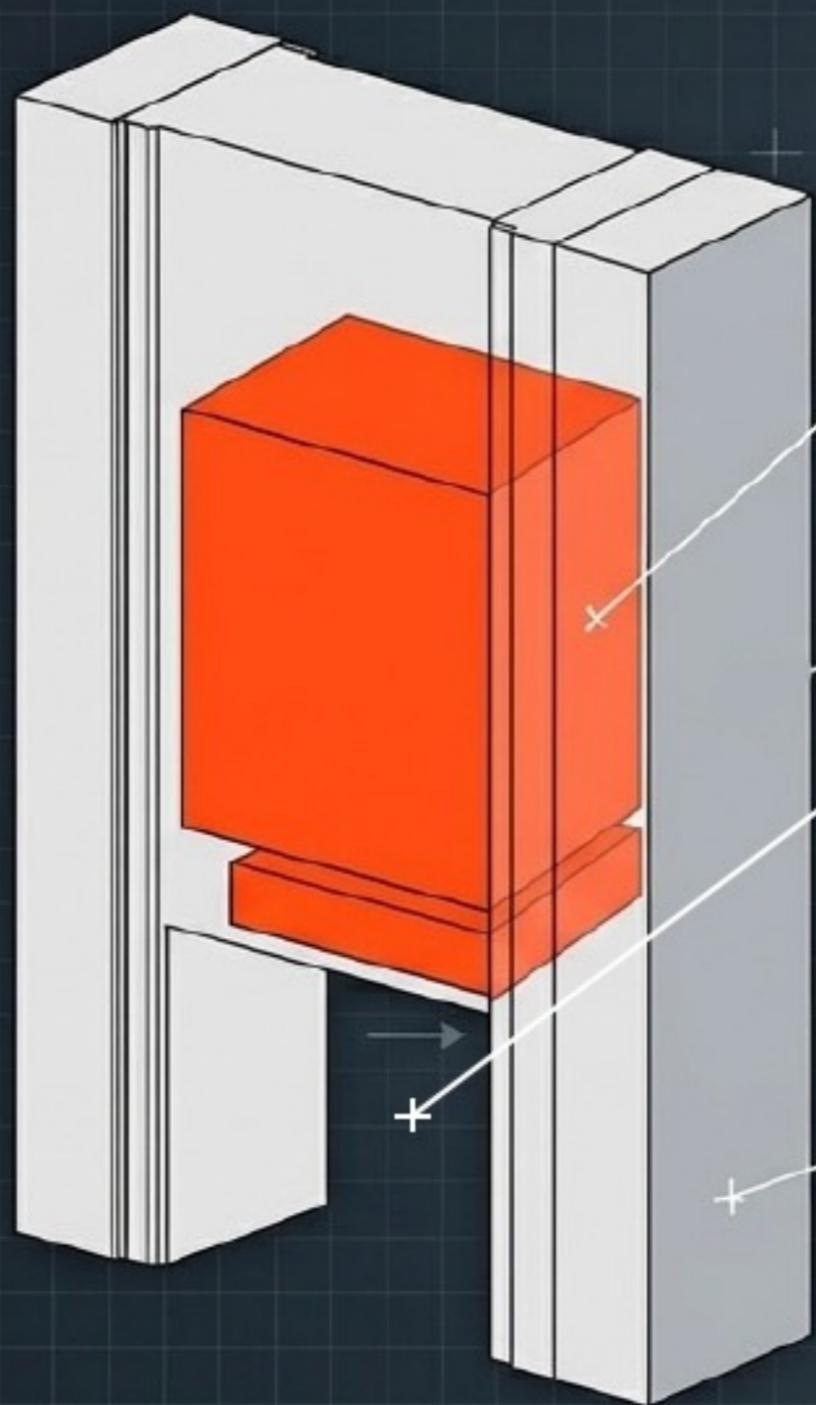
Устойчивый напор. Стабильная протяжка воздуха через оборудование сохраняется даже при сниженном перепаде давления и частичном отказе кулеров.



**ВЕРДИКТ:** Оборудование конструкции DC рекомендовано к штатной эксплуатации. Риск термической деградации оценен как «Низкий».

№	Имя	Фамилия	Подпись	Дата

# Архитектура цифровой модели и профиль нагрузки



## Активное оборудование:

- Вычислительные узлы (20U): 20 000 Вт.
- Блок ИБП (3U): 5 000 Вт.

## Изоляция (Серые зоны):

Батарейный шкаф исключен из конвекции. Свободные U-юниты жестко перекрыты глухими фальшпанелями (blanking panels) для блокировки паразитной рециркуляции.

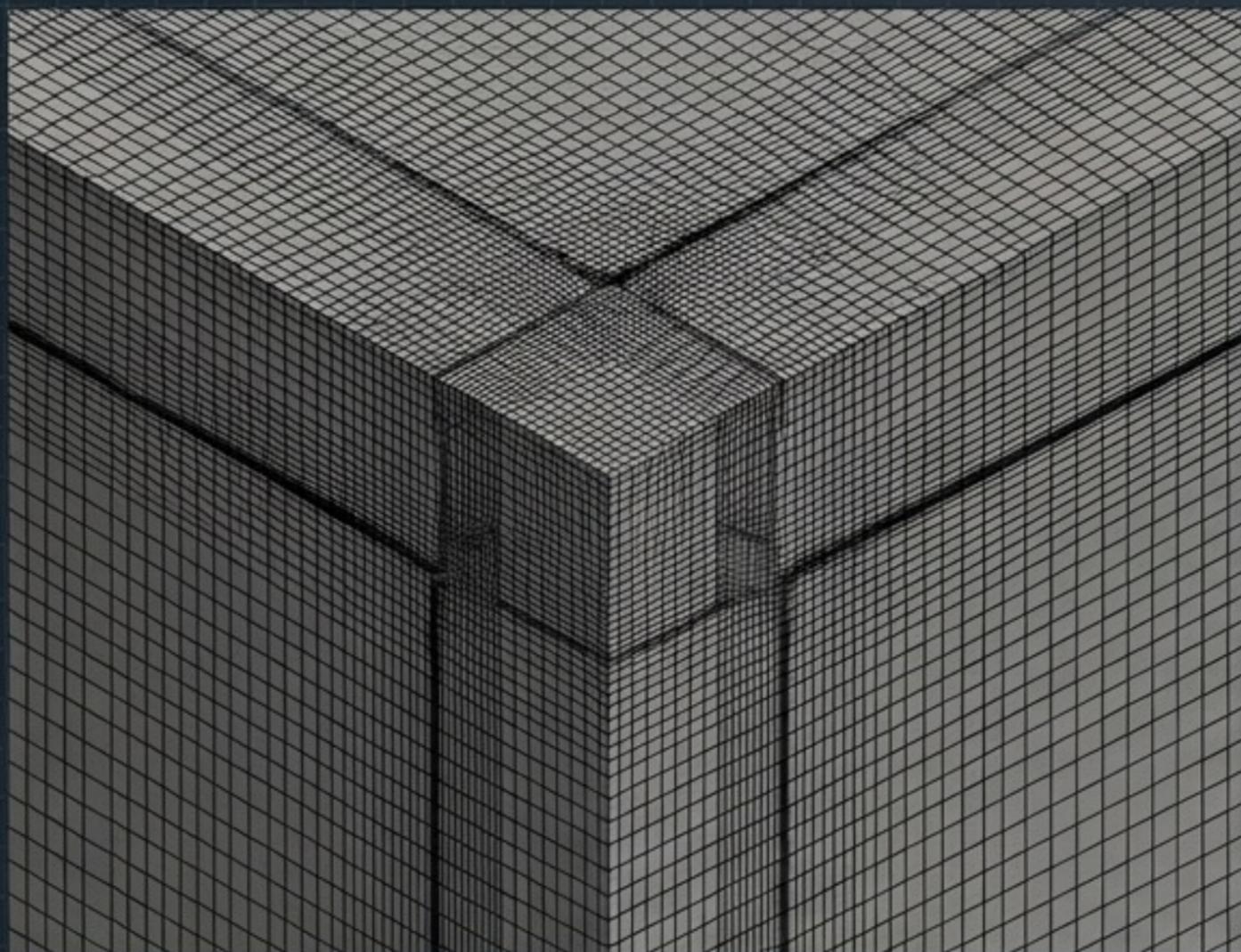
## Граничные условия:

Перфорированные двери смоделированы как пористая среда (Porous Media) с заданным коэффициентом аэродинамического сопротивления.

ИД	Век	Параметр	Значение	Ед.изм.

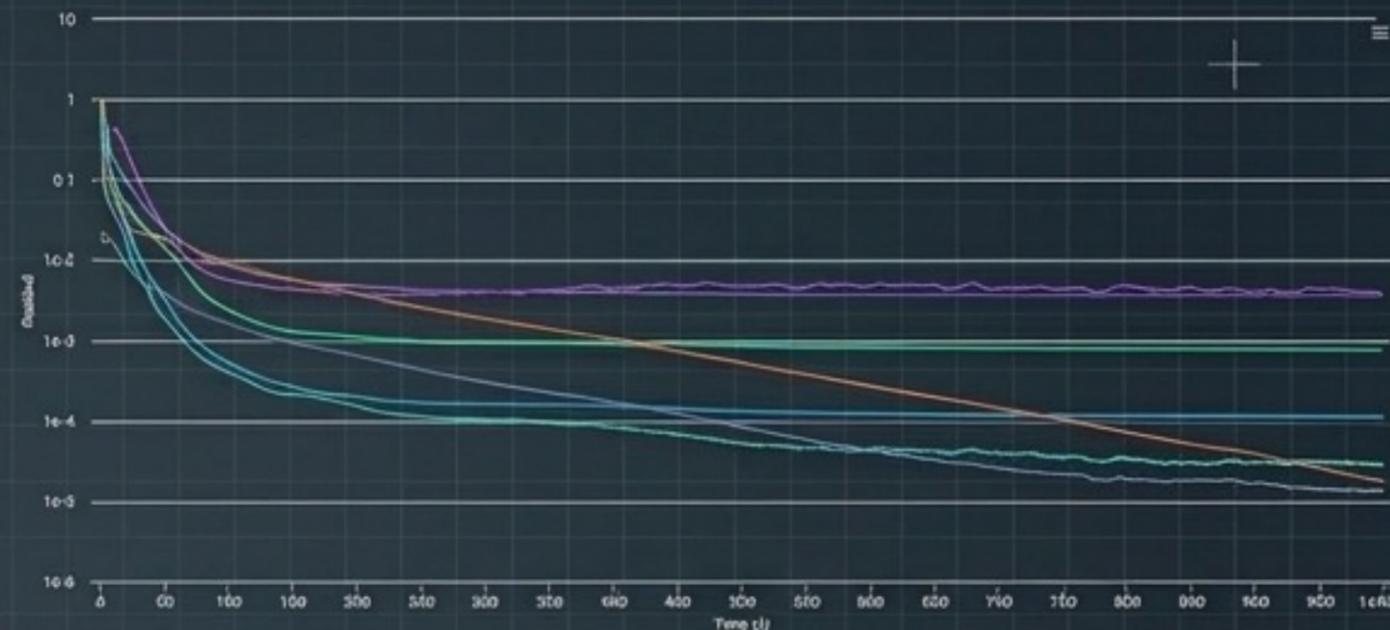
Стр.	Всего	Стор.
159		
<i>[Signature]</i>		

# Математический аппарат и сходимость модели



## Дискретизация (Сетка):

Hex-dominant структура. 1.6 млн ячеек (605 тыс. узлов).  
Автоматический контроль  $y^+$  для точного разрешения пограничного слоя.



— **Физика потока:** Несжимаемый стационарный поток. Индустриальный стандарт турбулентности: k-omega SST. Моделирование кулеров через нелинейные P-Q кривые (Fan Model).

— **Сходимость (Convergence):** Достигнуто глубокое квазистационарное состояние (1000 итераций). Невязки Навье-Стокса снижены до  $1e-4$ , по энергии — до  $1e-5$ . Нефизичные осцилляции отсутствуют.

Step	Time	Iteration	Residual	Force
1	0.000000	1	1.000000	1.000000
2	0.000000	2	0.500000	0.500000
3	0.000000	3	0.250000	0.250000
4	0.000000	4	0.125000	0.125000
5	0.000000	5	0.062500	0.062500
6	0.000000	6	0.031250	0.031250
7	0.000000	7	0.015625	0.015625
8	0.000000	8	0.007812	0.007812
9	0.000000	9	0.003906	0.003906
10	0.000000	10	0.001953	0.001953

Date	Step	Time
15.9		

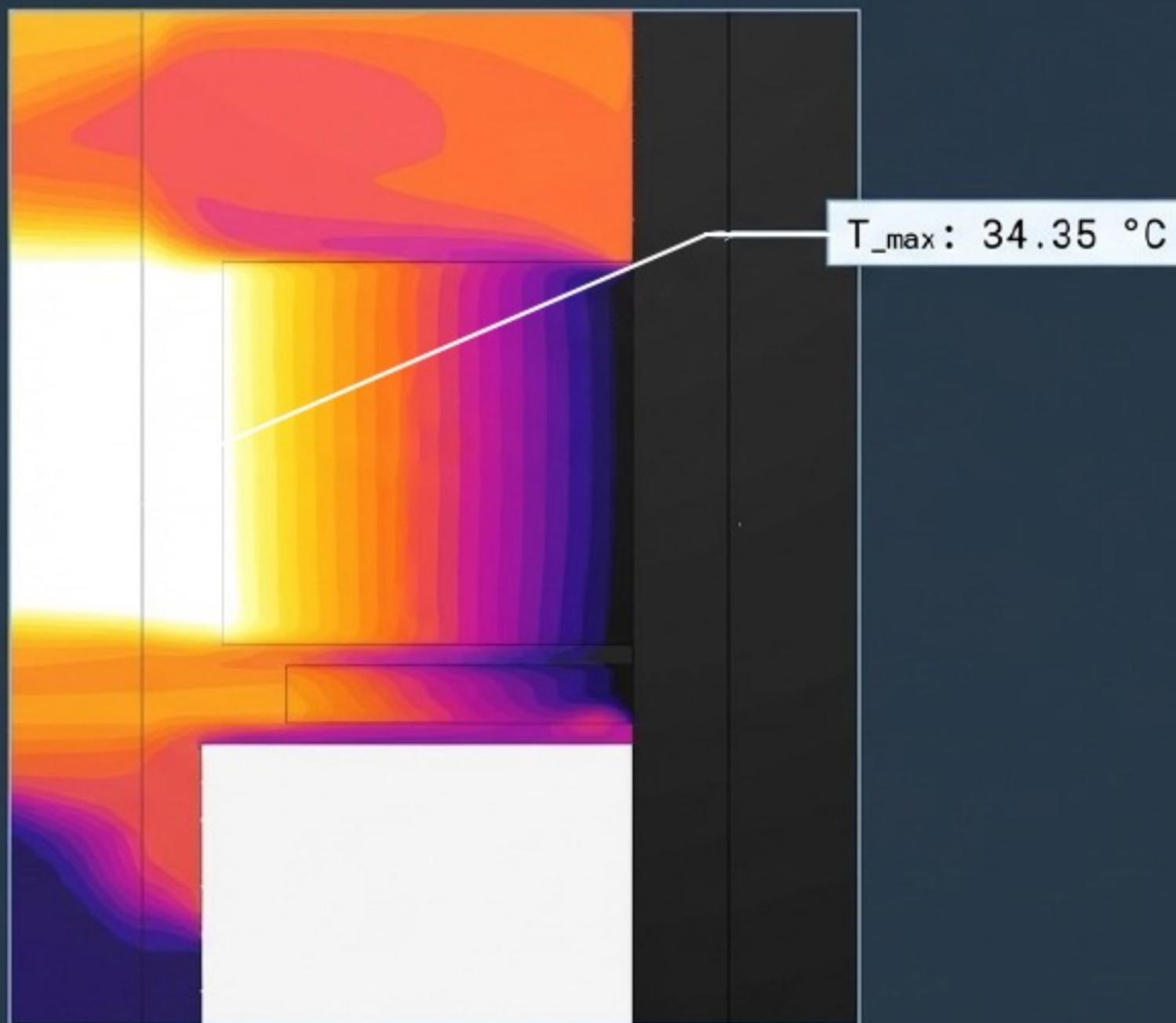
# Программа испытаний: Матрица сценариев

Сценарий	T входа	P подпора	Мощность Fan	Tmax	Рециркуляция	Статус
Базовый	20 °C	20 Па	100%	34.35 °C	0%	<b>PASS</b> (Низкий риск)
Аварийный (Отказ)	22 °C	15 Па	80%	38.34 °C	0%	<b>PASS</b> (Средний риск)

Моделирование аварийного сценария предполагает одновременную деградацию трех ключевых параметров охлаждения ЦОД.

№	Имя	Состояние	Результат	Дата	Время	Статус
159						

# Сценарий 1: Тепловое распределение (Штатный режим)

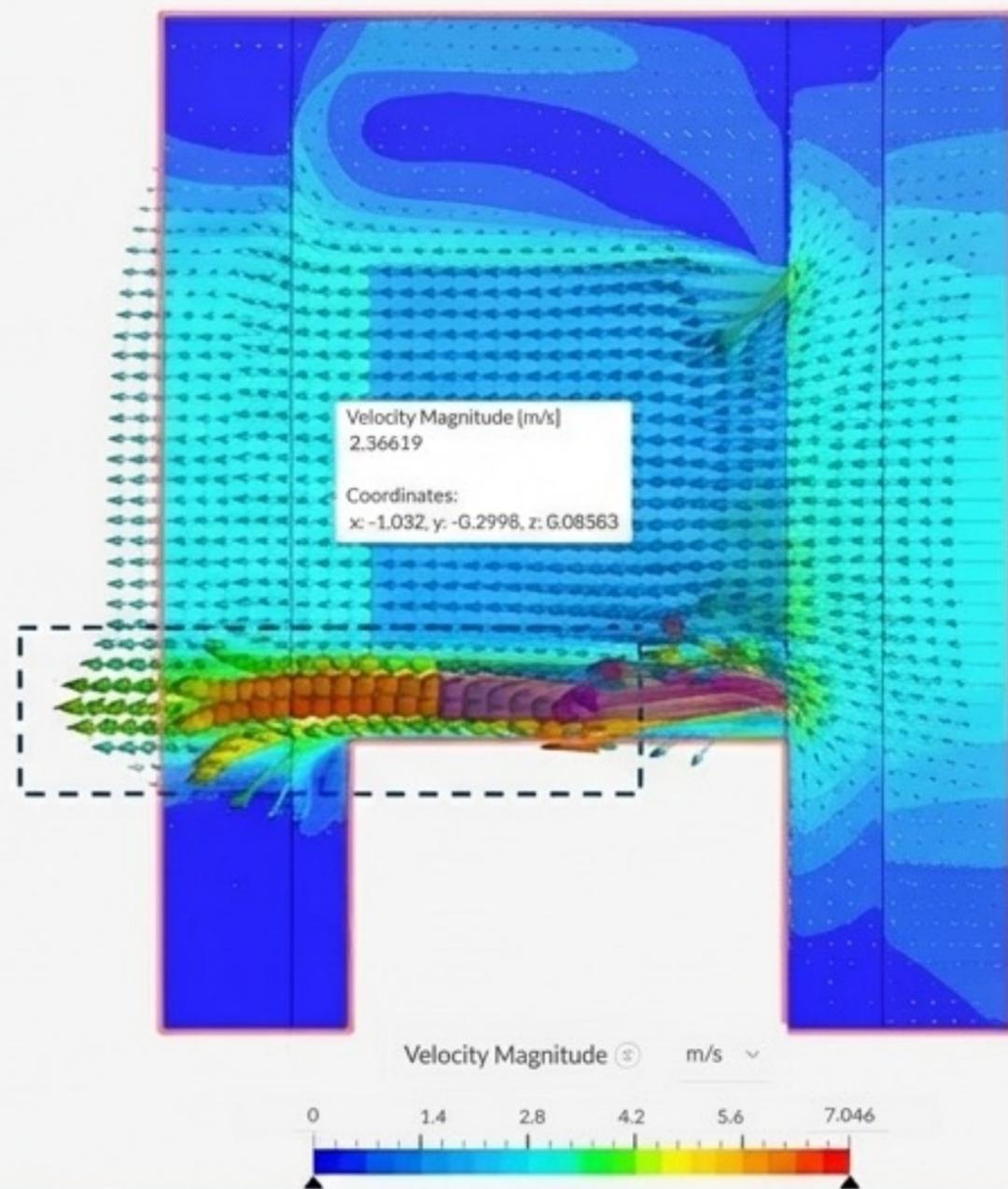


$T_{in}: 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

$T_{max}: 34.35\text{ }^{\circ}\text{C}$

- Поток равномерно нагревается, проходя сквозь вычислительные узлы (20U) и ИБП (3U).
- Отсутствие локальных перегревов (hot spots) — градиент температур внутри серверного блока распределен идеально ровно.
- Эффективный съём 25 кВт тепла полностью подтвержден.

# Сценарий 1: Аэродинамика и векторы скоростей

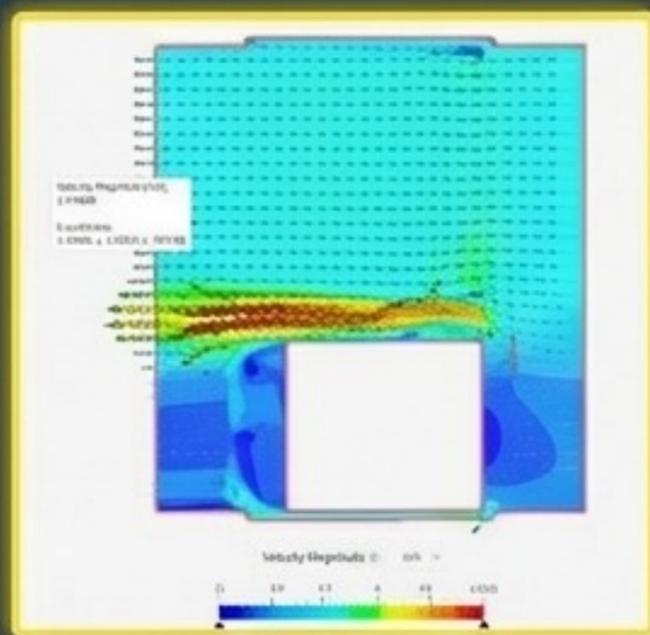
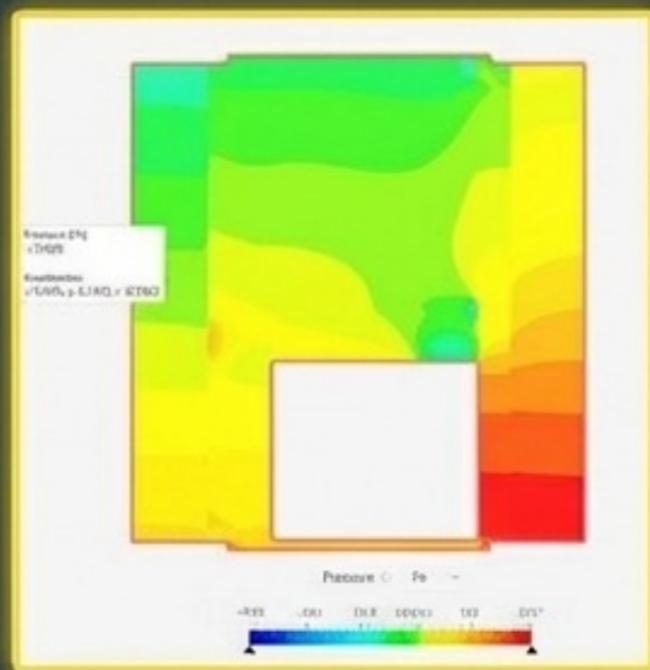


$V_{\text{серверы}}: \sim 2.4 \text{ м/с}$

$V_{\text{выхлоп (ИБП)}}: \text{до } \sim 7.0 \text{ м/с}$

- Стабильная протяжка: Вентиляторы (Fan Model) успешно преодолевают аэродинамическое сопротивление серверов и перфорированных дверей.
- Идеальное разделение сред: Нулевая рециркуляция. Локальная вихревая зона над серверами заперта в «горячем коридоре» и физически не может быть заброшена обратно к воздухозаборникам.

## Сценарий 2: Аэродинамика при деградации условий (Стресс-тест)



**Условия:**  
Отказ кулеров (-20%) | Падение подпора (до 15 Па) |  $T_{in} = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$

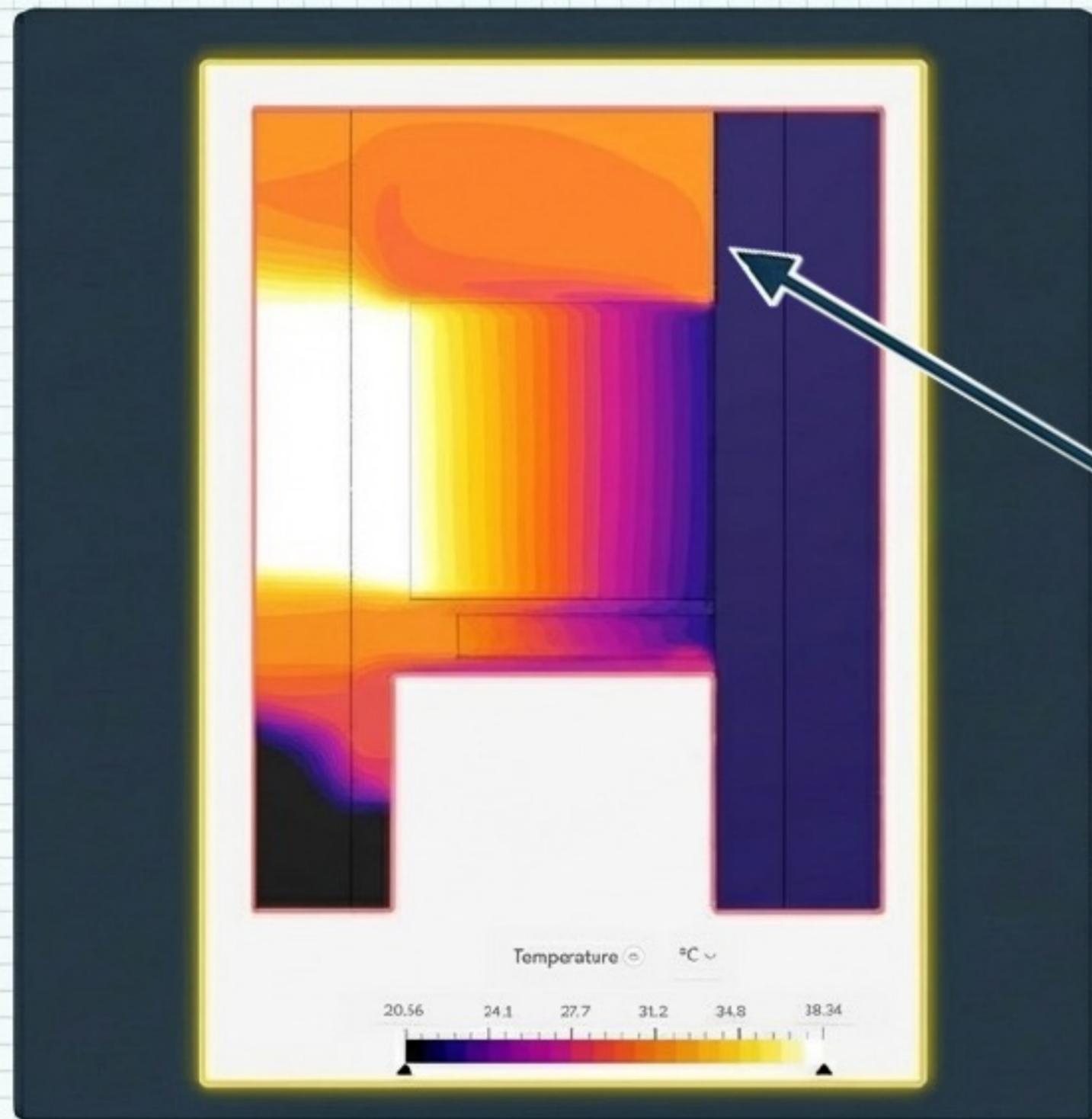
### Аэродинамический ответ:

Скорость потока сквозь серверы предсказуемо падает до  $\sim 1.8\text{ м/с}$ . Максимальная скорость выхлопа ИБП снижается до  $6.75\text{ м/с}$ .

### Устойчивость к давлению:

Несмотря на падение внешнего подпора до 15 Па, внутренней производительности кулеров достаточно для преодоления сопротивления. Эффекта «обратной тяги» не возникает.

## Сценарий 2: Тепловой ответ на деградацию (Запас отказоустойчивости)



**T\_max: 38.34 °C**

**P95: 37.75 °C**

**Глухие фальшпанели**

- При подаче воздуха 22 °C и падении скорости расхода тепловой фон ожидаемо возрастает, но ядро нагрева остается в безопасных пределах. Критические перегревы отсутствуют.

- **Фактор выживаемости:** Установленные фальшпанели жестко блокируют переток горячего воздуха на фронт. Рециркуляция сохраняется на уровне 0%, спасая систему от теплового коллапса.

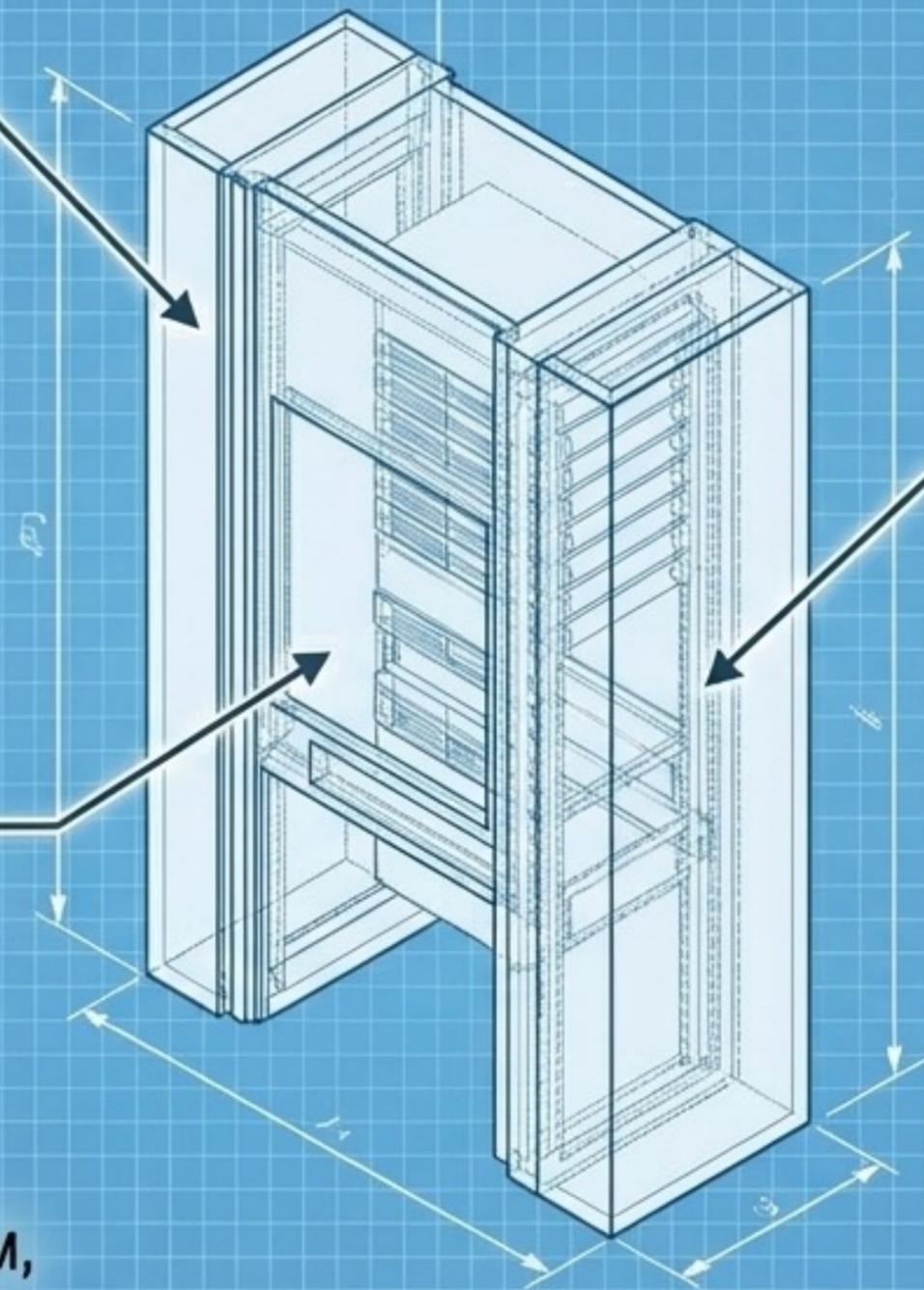
# Архитектурный синтез: Инженерные факторы эффективности шкафа DC

## Герметичность контура:

Радикальное перекрытие путей обхода (байпаса). 100% забираемого холодного воздуха совершает полезную работу по съему тепла.

## Изоляция неиспользуемого объема:

Интеграция металлических/пластиковых заглушек на пустые U-места создает строгий замкнутый объем, исключая паразитные вихри.



## Симбиоз потоков:

При подпоре всего в 15–20 Па собственные вентиляторы оборудования с запасом преодолевают сопротивление внешней среды без паразитных потерь энергии.

# Инженерное заключение и предписания (Sign-Off)

**ВЕРДИКТ:** Объект испытаний (Серверный шкаф DC) полностью и безоговорочно соответствует требованиям к размещению оборудования с суммарной нагрузкой 25 кВт.

## Предписание №1 (Настройка климата):

Поддерживать перепад давления между холодным и горячим коридорами в диапазоне 15–20 Па. Превышение 20 Па нецелесообразно экономически; снижение ниже 15 Па уменьшает запас отказоустойчивости.

## Предписание №2 (BMS Мониторинг):

Настроить системы аппаратного мониторинга на оповещение при падении оборотов серверных вентиляторов для раннего купирования рисков.



## Статус валидации: УСПЕШНО.

Штатная работа гарантирована. Успешное прохождение стресс-теста официально допускает временную работу шкафа при локальных отказах систем охлаждения ЦОД.