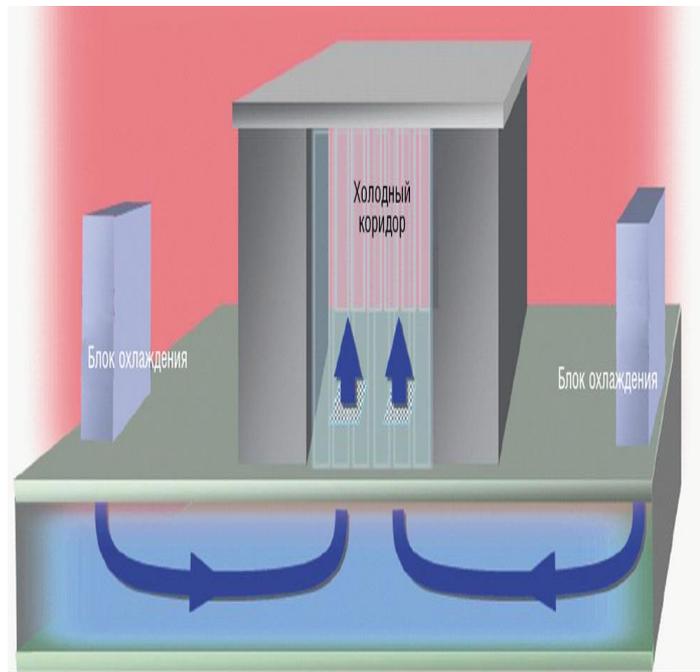




КОМПЛЕКСНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЦОД. РАЗБОР КОНКРЕТНЫХ ПРИМЕРОВ



Дарья Денисихина



КОМПЛЕКСНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦОД

ЦЕЛЬ 1

СДЕЛАТЬ ОБЪЕКТ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫМ

- Анализ годового энергопотребления будущего/существующего объекта
- Разработка решений по повышению энергоэффективности здания ЦОД
- Оценка инвестиций в энергоэффективные мероприятия, расчет срока окупаемости решений

ВЕМ-ПОДХОД

ЦЕЛЬ 2

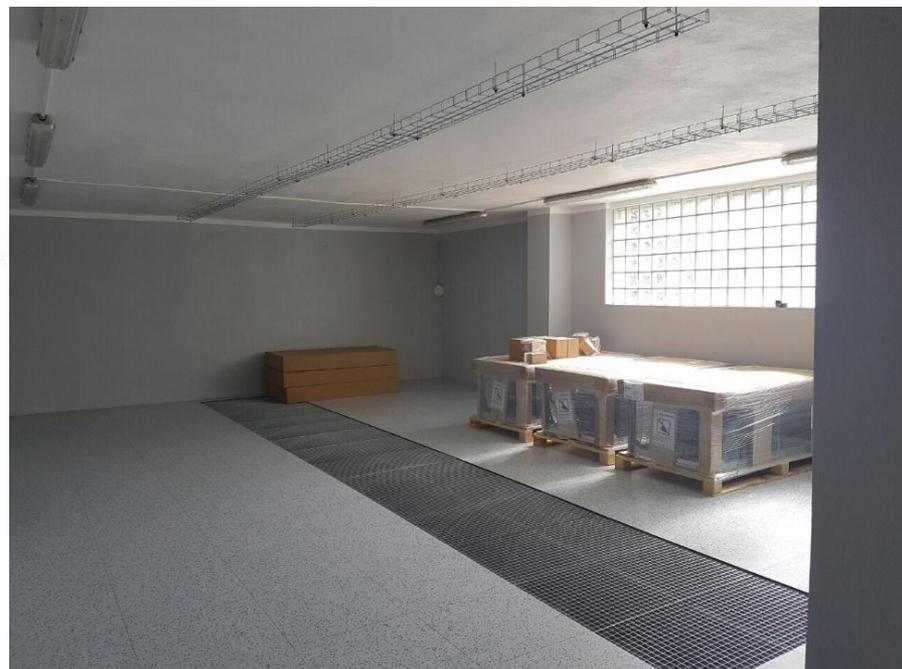
ОБЕСПЕЧИТЬ ТРЕБУЕМЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

- Расчет и визуализация параметров микроклимата, формируемых работой инженерных систем
- Корректировка проектных решений
- Проверка работы предложенных модификаций

CFD- ПОДХОД



Veselí nad Lužnicí, Czech Republic



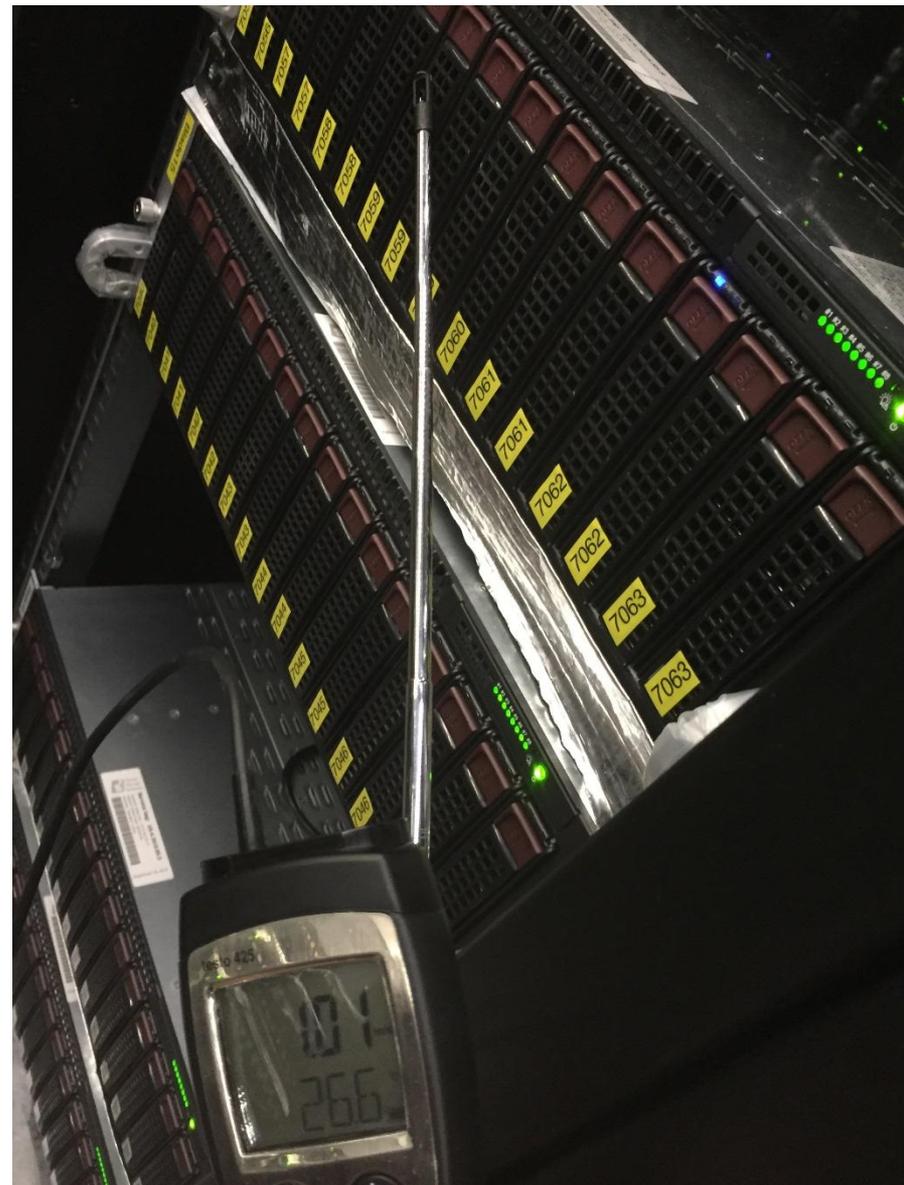
ЦОД в ЧЕХИИ, ОКЕЙ-ТЕЛЕКОМ

- 1. Новые машинные залы**
- 2. Функционирующие машинные залы**



MM-Технологии

Математическое моделирование

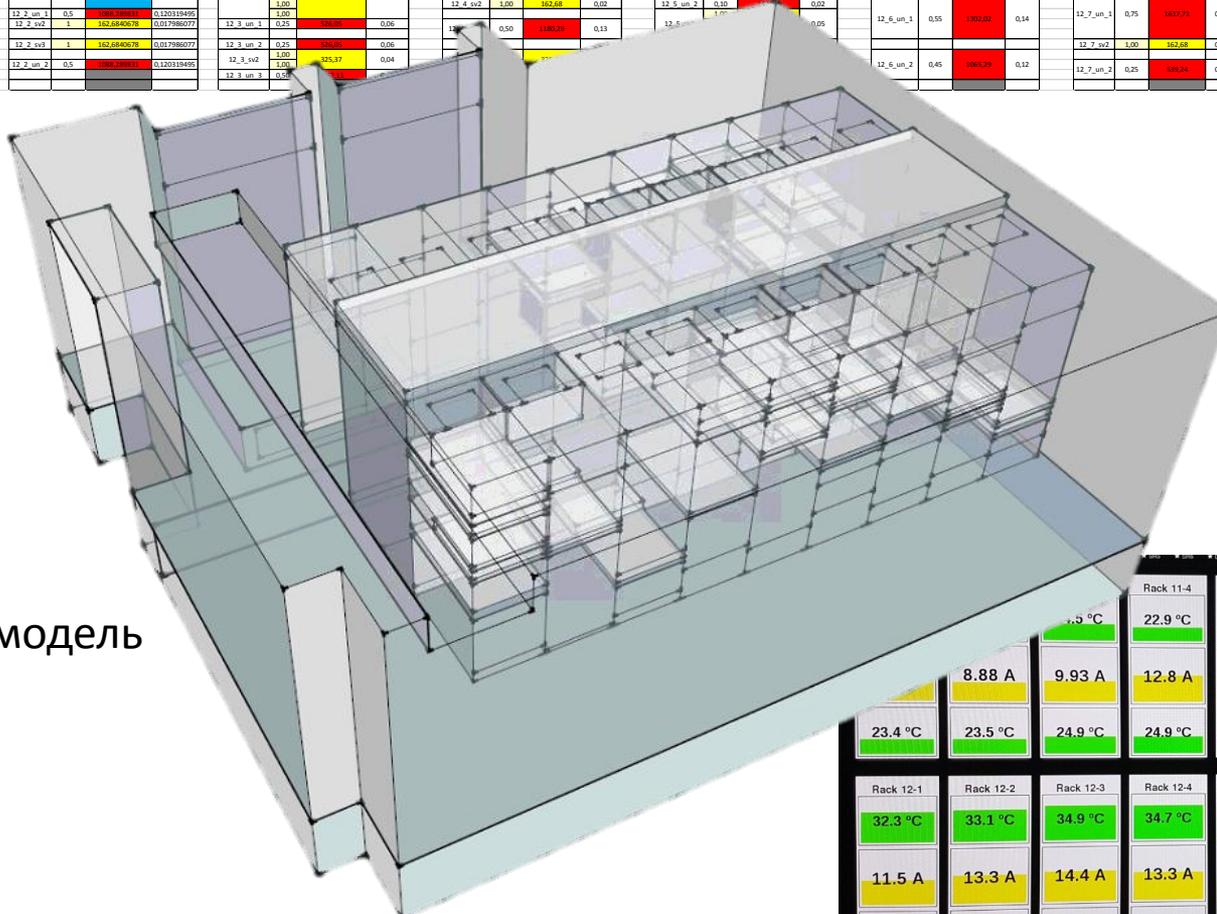




MM-TECHNOLOGIES

Математическое моделирование

| №1 | | | №2 | | | №3 | | | №4 | | | №5 | | | №6 | | | №7 | | | №8 | | | №9 | | | | | | | | | | | |
|-----------|------|-------------|-----------|-----------|---------|-------------|-------------|-----------|------|---------|---------|-----------|------|---------|------|-----------|---------|--------|------|-----------|------|---------|---------|-----------|------|---------|------|-----------|------|---------|------|-----------|------|---------|------|
| | | M, kg/s | | | M, kg/s | | | M, kg/s | | | M, kg/s | | | M, kg/s | | | M, kg/s | | | M, kg/s | | | M, kg/s | | | | | | | | | | | | |
| 11_1_sv1 | 1 | 325,3681356 | 0,0399722 | 11_2_sv1 | 1 | 325,3681356 | 0,039972154 | 11_3_sv1 | 1,00 | 162,68 | 0,02 | 11_4_sv1 | 1,00 | 488,05 | 0,05 | 11_5_sv1 | 1,00 | 488,05 | 0,05 | 11_6_sv1 | 1,00 | 325,37 | 0,04 | 11_7_sv1 | 1,00 | 162,68 | 0,02 | 11_8_sv1 | 1,00 | 650,74 | 0,07 | 11_9_sv1 | 1,00 | | |
| 11_1_un_1 | 0,50 | 162,6840678 | 0,1113779 | 11_2_un_1 | 0,1 | 162,6840678 | 0,016478252 | 11_3_un_1 | 1,00 | 162,68 | 0,02 | 11_4_un_1 | 0,30 | 150,61 | 0,08 | 11_5_un_1 | 0,50 | 116,63 | 0,13 | 11_6_un_1 | 0,30 | 162,68 | 0,06 | 11_7_un_1 | 1,00 | 1875,12 | 0,21 | 11_8_un_1 | 1,00 | 2040,26 | 0,23 | 11_9_un_1 | 1,00 | 3112,09 | 0,37 |
| 11_1_sv2 | 1 | 488,0522034 | 0,0539582 | 11_2_sv2 | 0,2 | 488,0522034 | 0,025463225 | 11_3_sv2 | 1,00 | 3096,61 | 0,23 | 11_4_sv2 | 0,70 | 1791,36 | 0,19 | 11_5_sv2 | 1,00 | 162,68 | 0,02 | 11_6_sv2 | 0,10 | 162,68 | 0,02 | 11_7_sv2 | 1,00 | | | 11_8_sv2 | 1,00 | | | 11_9_sv2 | 1,00 | | |
| 11_1_un_2 | 0,45 | 454,2168475 | 0,0911234 | 11_2_un_2 | 0,3 | 454,2168475 | 0,049417832 | 11_3_un_2 | 1,00 | | | 11_4_un_2 | 0,70 | 1791,36 | 0,19 | 11_5_un_2 | 0,50 | 116,63 | 0,13 | 11_6_un_2 | 0,70 | 1794,74 | 0,20 | 11_7_un_2 | 1,00 | | | 11_8_un_2 | 1,00 | | | 11_9_un_2 | 1,00 | | |
| | | 3811,279681 | | | | 3489,047797 | | | | | | 12_4_sv1 | 1,00 | 325,37 | 0,04 | 12_5_sv1 | 1,00 | 162,68 | 0,02 | 12_6_sv1 | 1,00 | 162,68 | 0,02 | 12_7_sv1 | 1,00 | 325,37 | 0,04 | 12_8_sv1 | 1,00 | 162,68 | 0,02 | 12_9_sv1 | 1,00 | 325,37 | 0,04 |
| | | 813,400339 | | | | 488,0522034 | | | | | | 12_4_un_1 | 0,20 | 177,12 | 0,05 | 12_5_un_1 | 0,10 | 162,68 | 0,02 | 12_6_un_1 | 0,55 | 1302,01 | 0,14 | 12_7_un_1 | 0,75 | 1647,73 | 0,18 | 12_8_un_1 | 0,40 | 927,81 | 0,10 | 12_9_un_1 | 1,00 | | |
| | | 1831,578661 | | | | 1489,047797 | | | | | | 12_4_sv2 | 1,00 | 162,68 | 0,02 | 12_5_sv2 | 1,00 | 162,68 | 0,02 | 12_6_sv2 | 1,00 | 162,68 | 0,02 | 12_7_sv2 | 1,00 | 162,68 | 0,02 | 12_8_sv2 | 1,00 | 162,68 | 0,02 | 12_9_sv2 | 1,00 | 162,68 | 0,02 |
| 12_1_sv1 | 1 | 488,0522034 | 0,0539582 | 12_2_sv1 | 1 | 488,0522034 | 0,053958231 | 12_3_sv1 | 1,00 | 813,42 | 0,09 | 12_4_sv1 | 1,00 | 325,37 | 0,04 | 12_5_sv1 | 1,00 | 162,68 | 0,02 | 12_6_sv1 | 0,55 | 1302,01 | 0,14 | 12_7_sv1 | 1,00 | 162,68 | 0,02 | 12_8_sv1 | 0,40 | 927,81 | 0,10 | 12_9_sv1 | 1,00 | 325,37 | 0,04 |
| 12_1_un_1 | 0,85 | 1016,841722 | 0,1721219 | 12_2_un_1 | 0,5 | 1016,841722 | 0,120319495 | 12_3_un_1 | 1,00 | | | 12_4_un_1 | 0,20 | 177,12 | 0,05 | 12_5_un_1 | 0,10 | 162,68 | 0,02 | 12_6_un_1 | 0,55 | 1302,01 | 0,14 | 12_7_un_1 | 0,75 | 1647,73 | 0,18 | 12_8_un_1 | 0,40 | 927,81 | 0,10 | 12_9_un_1 | 1,00 | 325,37 | 0,04 |
| 12_1_sv2 | 1 | 325,3681356 | 0,0399722 | 12_2_sv2 | 1 | 325,3681356 | 0,039972154 | 12_3_sv2 | 1,00 | | | 12_4_sv2 | 1,00 | 162,68 | 0,02 | 12_5_sv2 | 1,00 | 162,68 | 0,02 | 12_6_sv2 | 0,55 | 1302,01 | 0,14 | 12_7_sv2 | 1,00 | 162,68 | 0,02 | 12_8_sv2 | 0,40 | 927,81 | 0,10 | 12_9_sv2 | 1,00 | 162,68 | 0,02 |
| 12_1_un_2 | 0,15 | 162,6840678 | 0,0157915 | 12_2_un_2 | 0,5 | 162,6840678 | 0,020949495 | 12_3_un_2 | 0,25 | 254,60 | 0,06 | 12_4_un_2 | 0,50 | 1500,24 | 0,13 | 12_5_un_2 | 0,25 | 254,60 | 0,06 | 12_6_un_2 | 0,45 | 1345,09 | 0,12 | 12_7_un_2 | 0,25 | 139,24 | 0,06 | 12_8_un_2 | 0,60 | 1391,78 | 0,15 | 12_9_un_2 | 1,00 | 162,68 | 0,02 |
| | | 325,3681356 | | | | 325,3681356 | | | | | | 12_4_un_3 | 0,25 | 254,60 | 0,06 | 12_5_un_3 | 0,25 | 254,60 | 0,06 | 12_6_un_3 | 0,45 | 1345,09 | 0,12 | 12_7_un_3 | 0,25 | 139,24 | 0,06 | 12_8_un_3 | 0,60 | 1391,78 | 0,15 | 12_9_un_3 | 1,00 | 162,68 | 0,02 |
| | | 162,6840678 | | | | 162,6840678 | | | | | | 12_4_un_4 | 0,42 | 305,14 | 0,06 | 12_5_un_4 | 0,42 | 305,14 | 0,06 | 12_6_un_4 | 0,42 | 305,14 | 0,06 | 12_7_un_4 | 0,42 | 305,14 | 0,06 | 12_8_un_4 | 0,42 | 305,14 | 0,06 | 12_9_un_4 | 0,42 | 305,14 | 0,06 |



3-D модель

| | Rack 11-4 | Rack 11-5 | Rack 11-6 | Rack 11-7 | Rack 11-9 | Rack 11-9 |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Temperature | 22.9 °C | 22.1 °C | 21.9 °C | 20.7 °C | 30.4 °C | 29.6 °C |
| Current | 8.88 A | 9.93 A | 12.8 A | 13.1 A | 13.8 A | 9.39 A |
| Temperature | 23.4 °C | 23.5 °C | 24.9 °C | 24.9 °C | 27.4 °C | 22.3 °C |
| Temperature | 32.3 °C | 33.1 °C | 34.9 °C | 34.7 °C | 30.7 °C | 20.3 °C |
| Current | 11.5 A | 13.3 A | 14.4 A | 13.3 A | 11.7 A | 12.0 A |
| Temperature | 25.6 °C | 23.9 °C | 25.1 °C | 25.3 °C | 25.4 °C | 28.4 °C |
| Temperature | 28.4 °C | 29.9 °C | 18.2 °C | 20.0 °C | | |



CFD-подход

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0$$

$$\frac{\partial \rho \vec{V}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V} \vec{V}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\tau} + \bar{\tau}_t) + \rho \vec{g}$$

$$\bar{\tau} = \mu(\nabla \vec{V} + [\nabla \vec{V}]^T) - \frac{2}{3} \mu \nabla \cdot \vec{V} \bar{I}$$

$$\bar{\tau}_t = \mu_t(\nabla \vec{V} + [\nabla \vec{V}]^T) - \frac{2}{3} \mu_t \nabla \cdot \vec{V} \bar{I} - \frac{2}{3} \rho k \bar{I}$$

$$\frac{\partial \rho E}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{V}[\rho E + p]) = \nabla \cdot (\vec{V} \cdot [\bar{\tau} + \bar{\tau}_t]) - \nabla \cdot (\vec{q} + \vec{q}_t)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \nabla \cdot \left[\rho \vec{V} k - \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right] = \mu_t (P + P_B) - \rho \varepsilon$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \nabla \cdot \left[\rho \vec{V} \varepsilon - \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right] = C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \mu_t P + C_{\varepsilon 3} \frac{\varepsilon}{k} \mu_t P_B - C_{\varepsilon 2} \rho \frac{\varepsilon^2}{k}$$

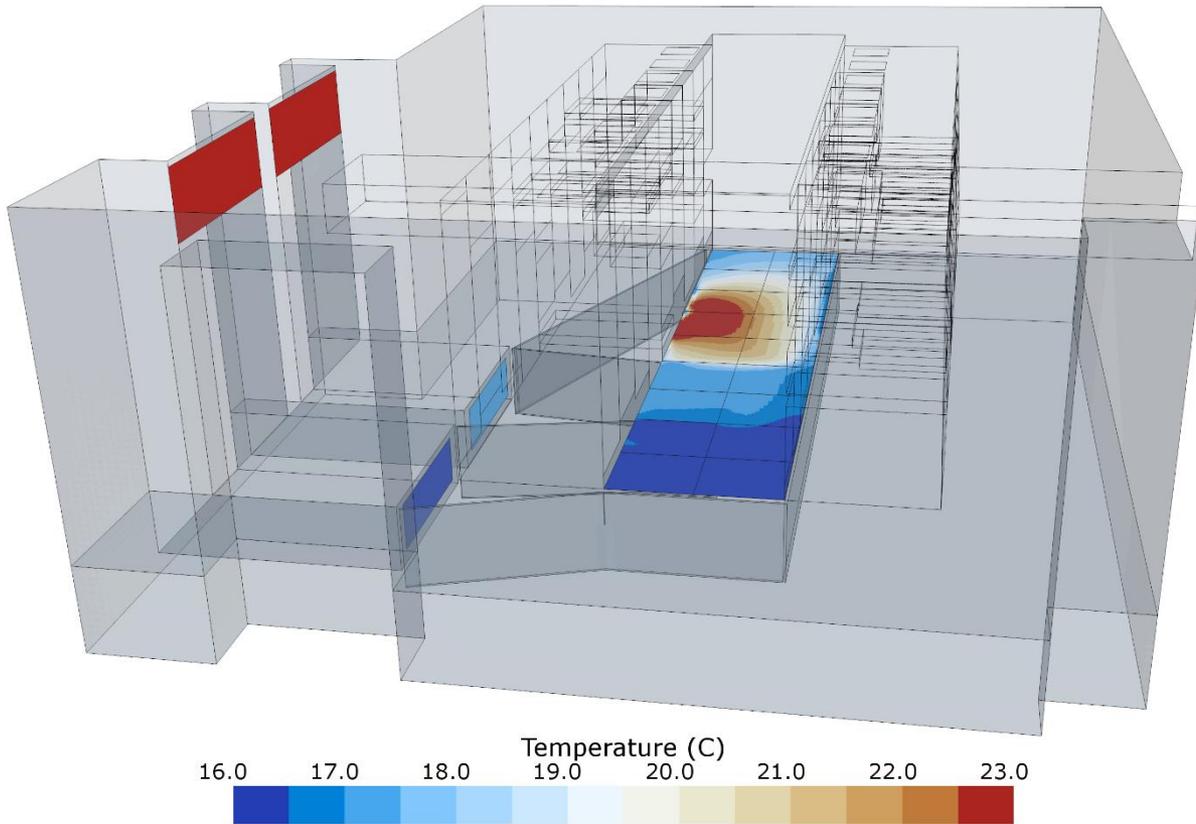
$$P = \mu(\nabla \vec{V} + [\nabla \vec{V}]^T) : \nabla \vec{V}$$

$$P_B = -\frac{1}{Sc_t} \frac{1}{\rho} \vec{g} \cdot \nabla \rho$$

$$\nabla \cdot (I(\vec{r}, \vec{s}) \vec{s}) + (a + \sigma_s) I(\vec{r}, \vec{s}) = a \frac{\sigma T^4}{\pi} + \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I(\vec{r}, \vec{s}') \Phi(\vec{s} \cdot \vec{s}') d\Omega'$$



Математическое моделирование



Измерения

| | |
|------|------|
| 19.7 | 20 |
| 21.2 | 21 |
| 21.4 | 21.4 |
| 22.7 | 22.6 |
| 21.1 | 23.2 |
| 18.8 | 18.3 |
| 18.3 | 17.9 |
| 17.7 | 17.5 |
| 17 | 16.4 |



ММ-Технологии

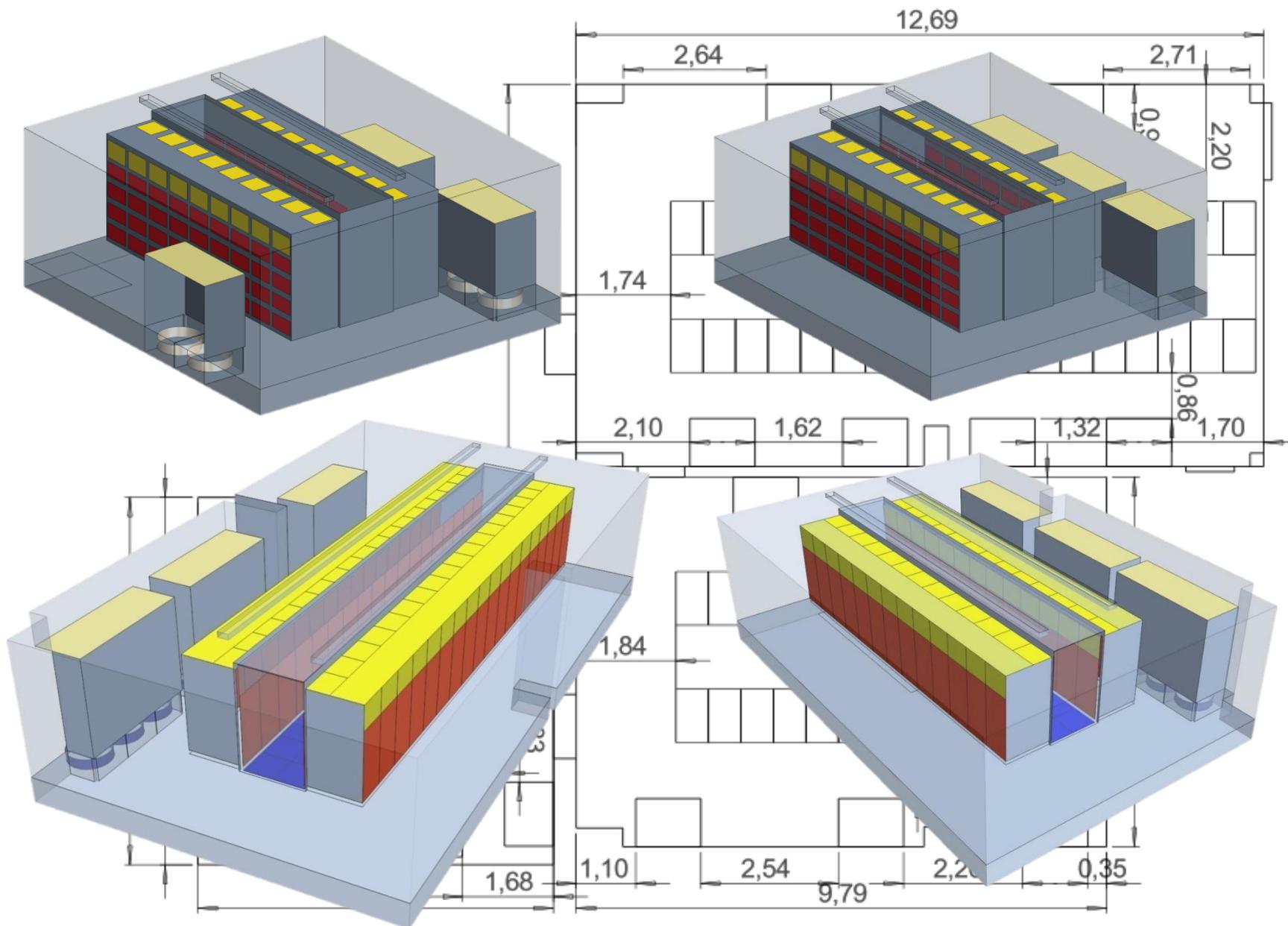
Математическое моделирование

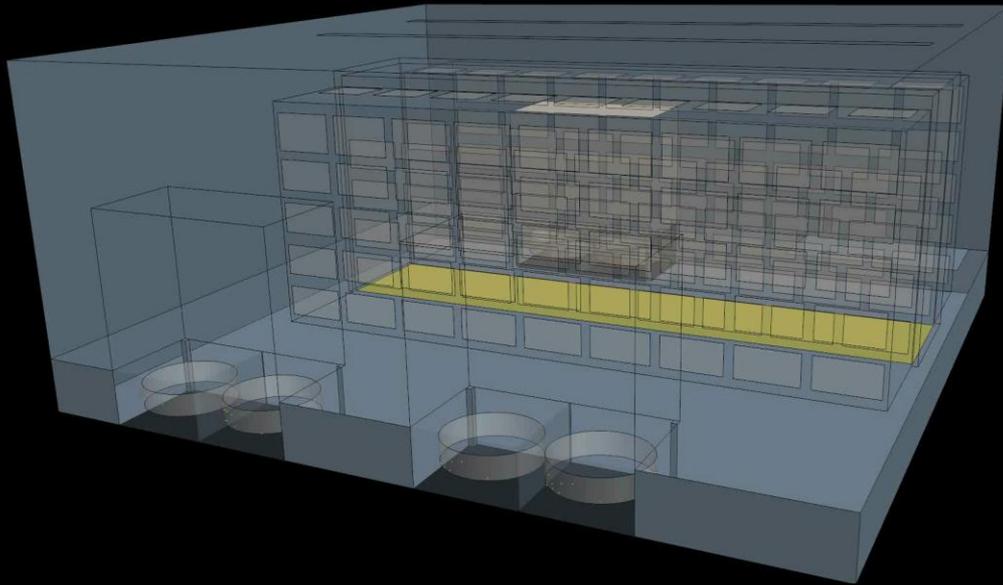




MM-Технологии

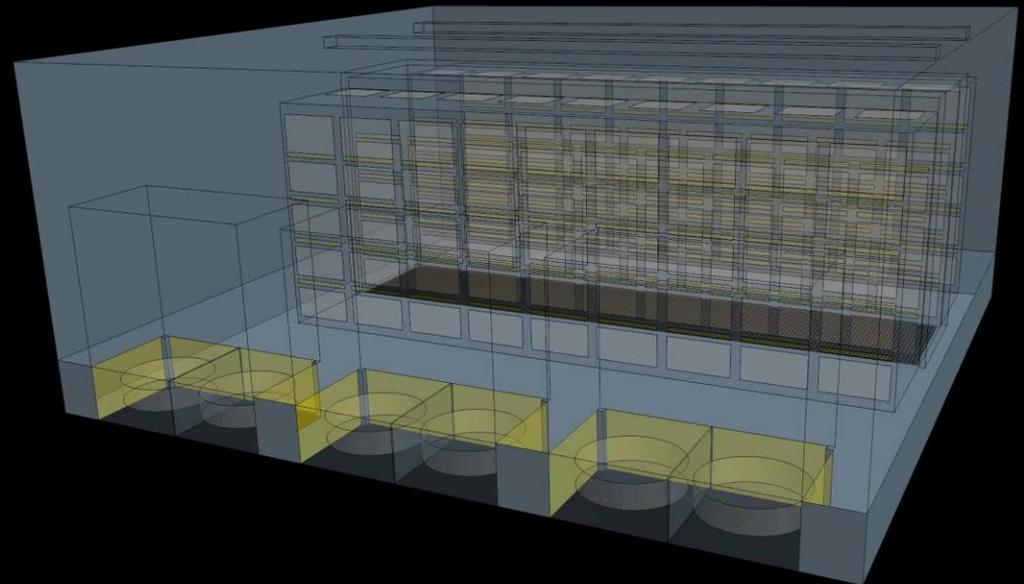
Математическое моделирование

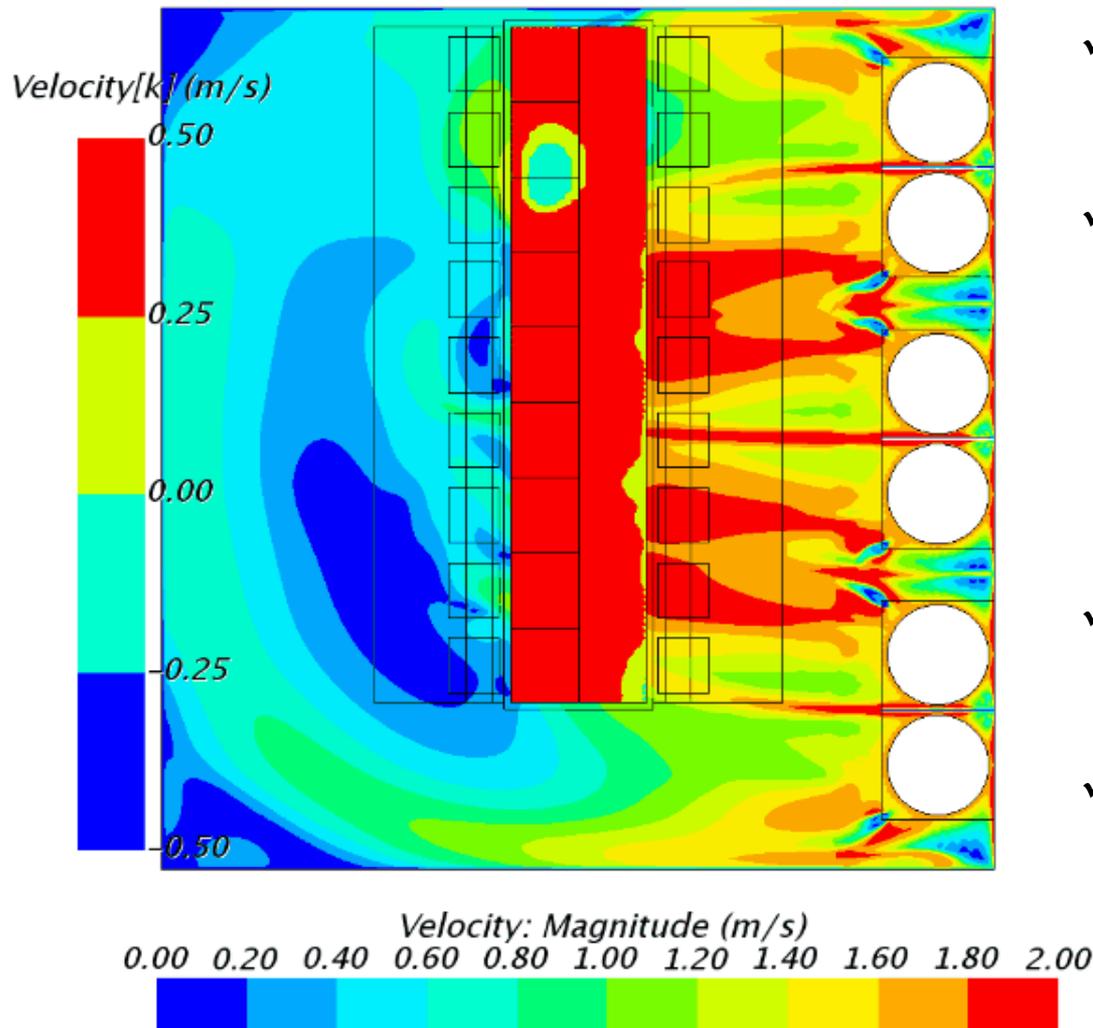




- «штатный» режим
- «аварийный» режим
- режим «частичной» загрузки

- различное расположение кондиционеров
- количество работающих кондиционеров в «штатном» режиме

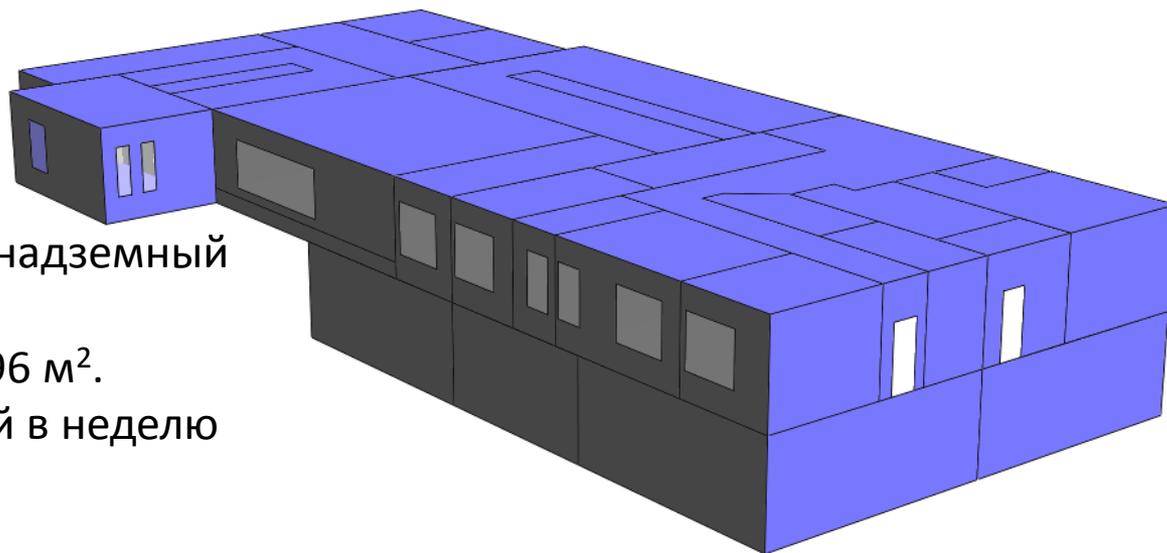




- ✓ Найдено оптимальное расположение кондиционеров
- ✓ На начальном этапе функционирования машинных залов (при их загрузке 25%) включать кондиционер, распложенный напротив загруженных стоек
- ✓ Предпочтительнее использование 3-х кондиционеров вместо 2-х
- ✓ Увеличить сопротивления решеток фальшпола с целью дополнительного выравнивая скоростей перед входом в «холодный коридор»



Энергомоделирование

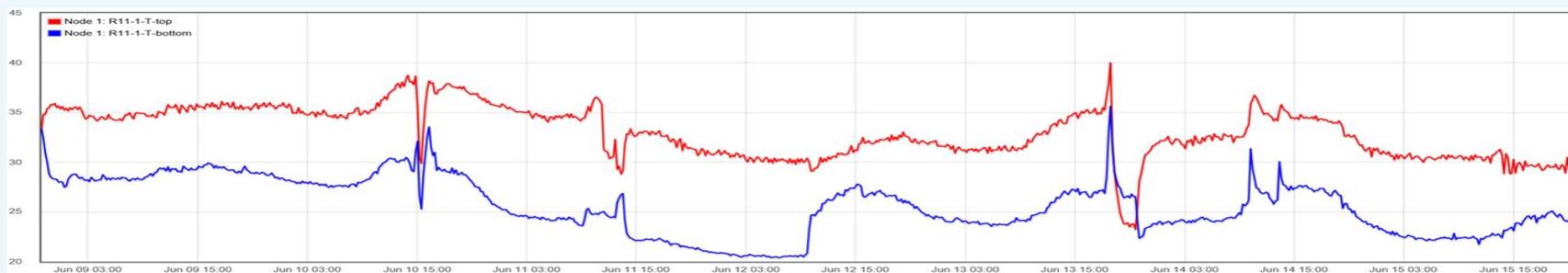


Этажность: 1 подземный и 1 надземный этаж.

Общая площадь здания : 1 096 м².

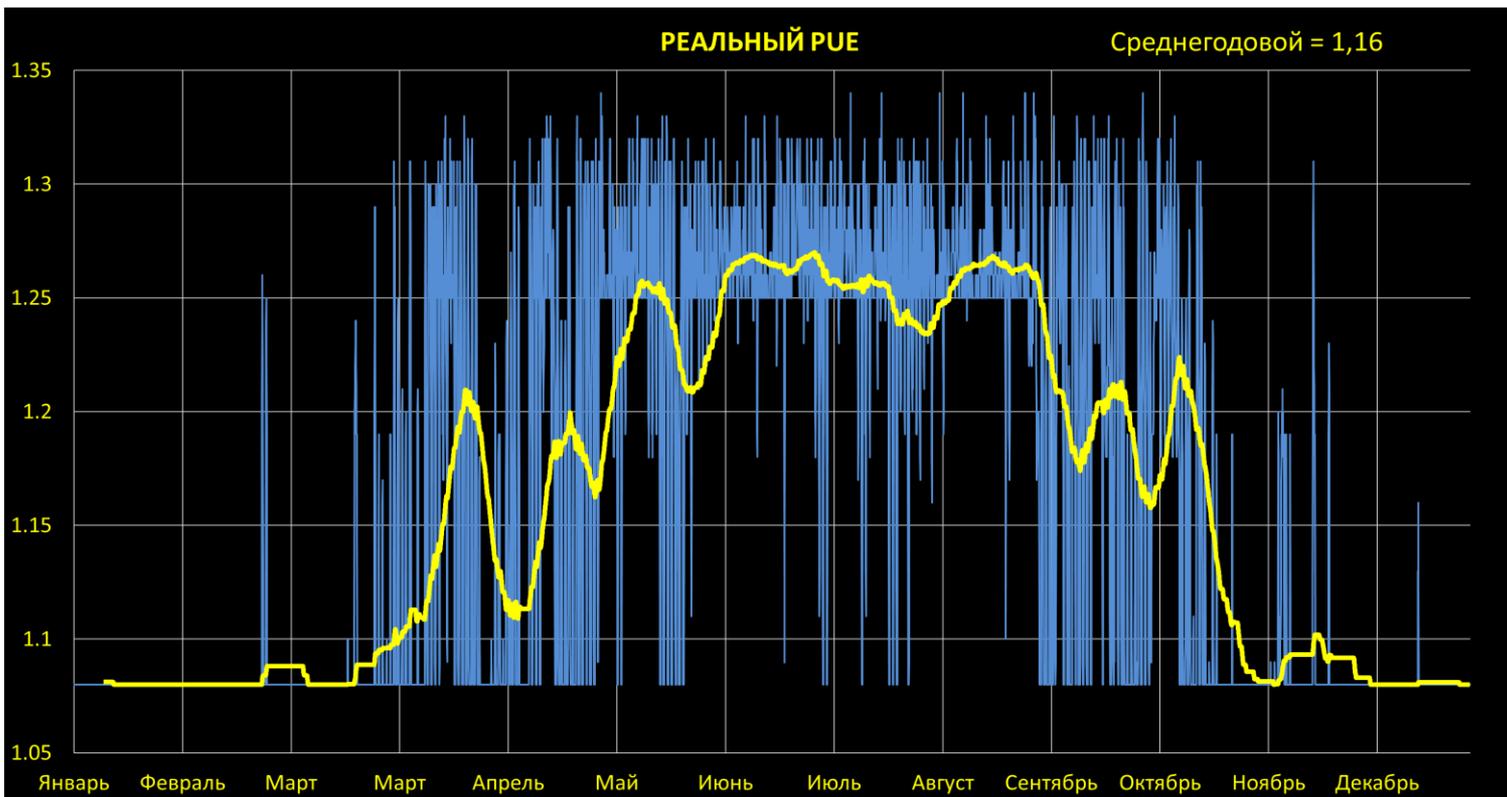
Режим работы здания: 7 дней в неделю
24 часа в сутки.

Rack 11-1 data





Энергомоделирование

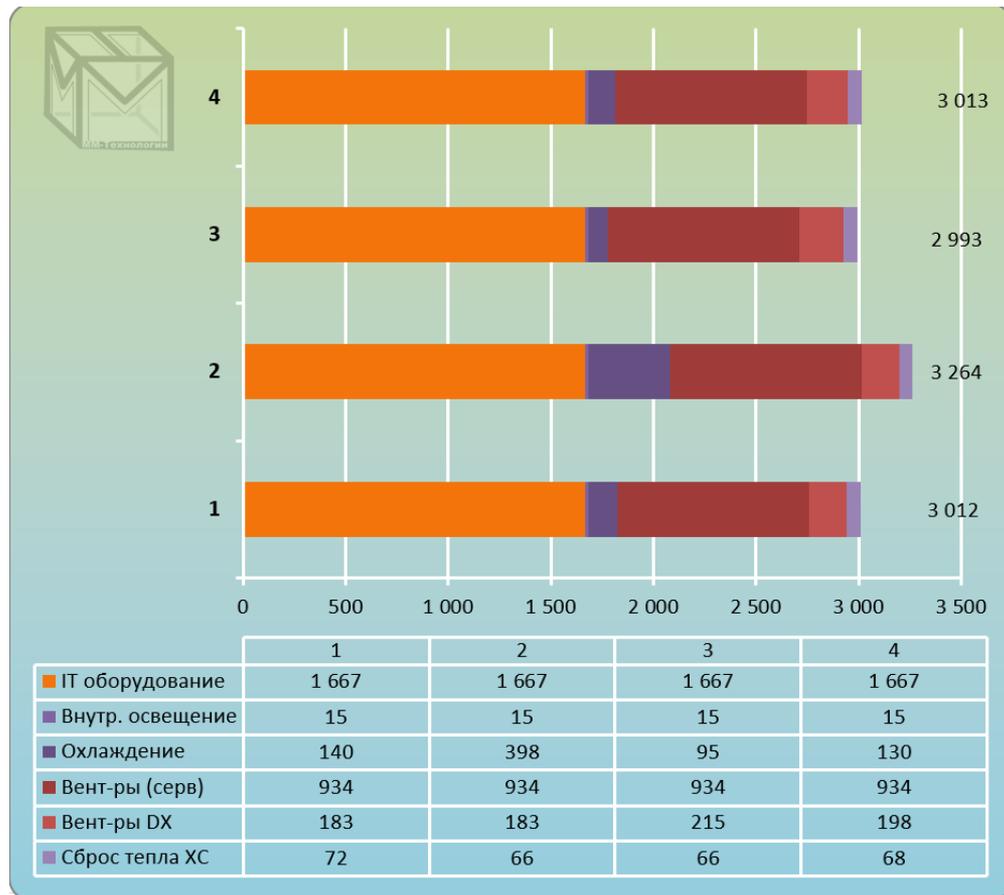


Анализ реального PUE, полученного с учетом изменяющихся загрузки оборудования и погодных данных, позволяет получить достоверную картину фактического функционирования ЦОД. Это те реальные энергопотребления, которые собственник будет иметь при эксплуатации ЦОД.



Энергомоделирование

1. Проектный вариант
2. Вариант с отключенным фрикулингом
3. Вариант с дооснащением кондиционеров блоками экономайзеров при работающем фрикулинге.
4. В залах работают по 2 из 3-х кондиционеров



| Вариант | Общие годовые затраты на ТЭР, CZK/год | Среднегодовой PUE | Экономия по эл. энергии, МВт·ч/год | Экономия по стоимости, CZK/год |
|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Проектный вариант | 6 023 076 | 1,16 | – | – |
| Вариант с установкой экономайзера | 5 950 989 | 1,14 | 36 | 72 087 |

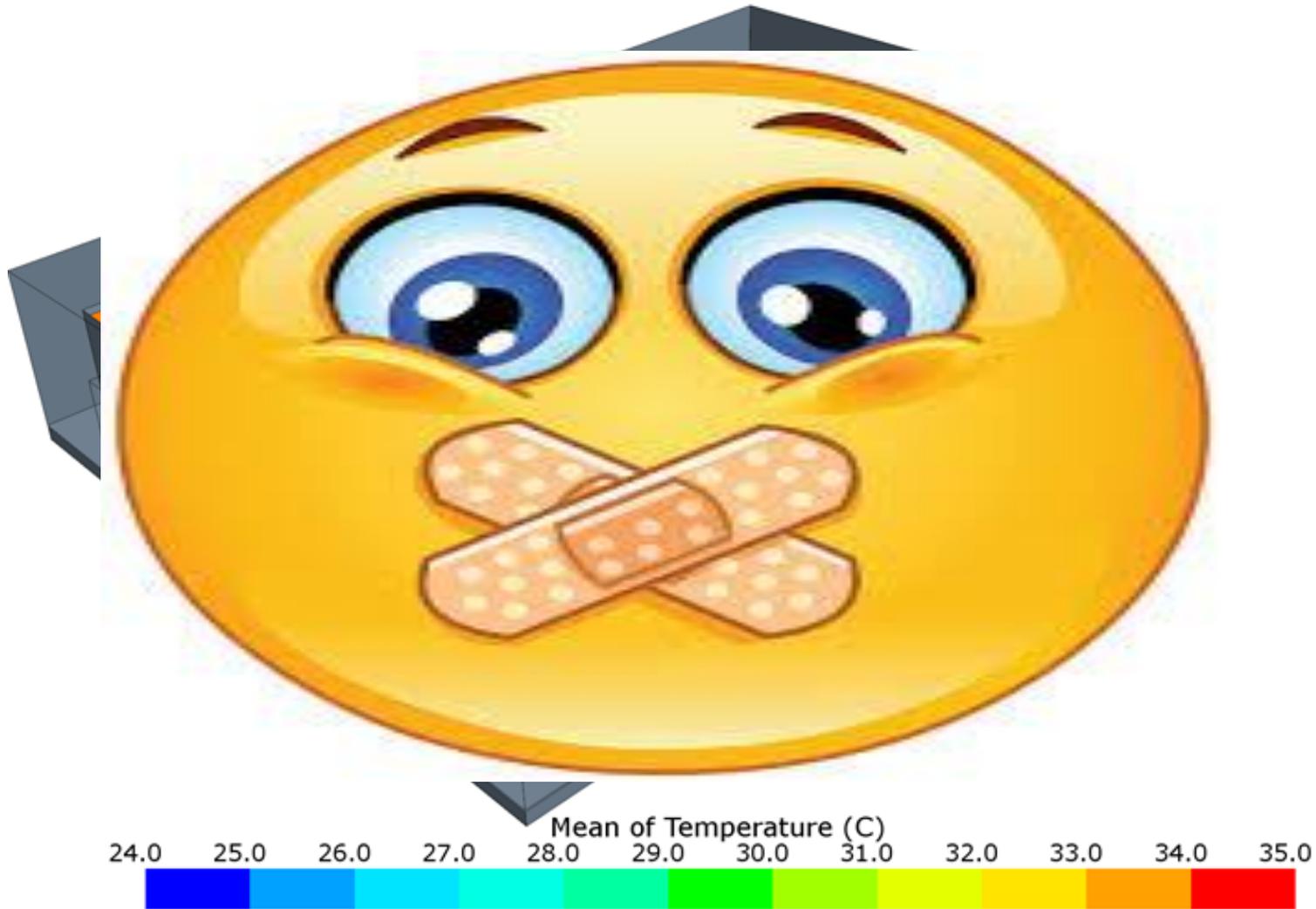


Распределение скорости в объеме фальшпола





Распределение температуры в объеме машинного зала





Комплексное моделирование позволило:

- Проанализировать функционирование машинных залов в «штатном», «аварийном» режимах, в режиме «частичной» (25%) загрузки
- Проанализировать различное расположение кондиционеров с точки зрения эффективности воздухораспределения
- Определить «реальный» PUE. То есть PUE, полученный с учетом реальной загрузки оборудования и реально изменяющихся погодных условий
- Проанализировать снижение энергопотребления ЦОД при использовании фрикулинга, экономайзера.
- Провести сопоставление математического моделирования и физических замеров



ДЛЯ УЧАСТНИКОВ ФОРУМА

- до 20 ноября при заказе CFD-моделирования Энергомодель в подарок
- до 31 декабря бесплатный выезд с проведением семинара по комплексному моделированию специалистам компании (группе до 10-15 человек)

Е-mail:

info@mm-technologies.ru

Сайт:

www.mm-technologies.ru

Телефон:

Тел.: +7 (812) 981-06-92

Тел.: +7 (921) 095-15-51

