



Российские САЕ-системы на службе промышленности²⁰²⁰

APM FGA – программный продукт для анализа течений жидкостей и газов

Алексей Чикулаев

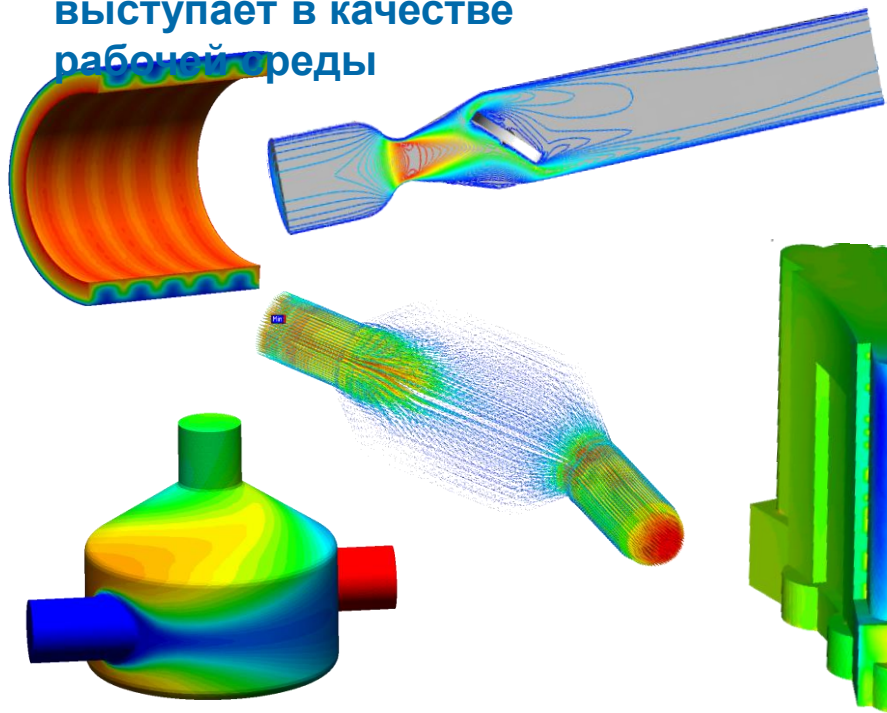


НТЦ «АПМ» - ведущий разработчик ПО для инженерных расчетов



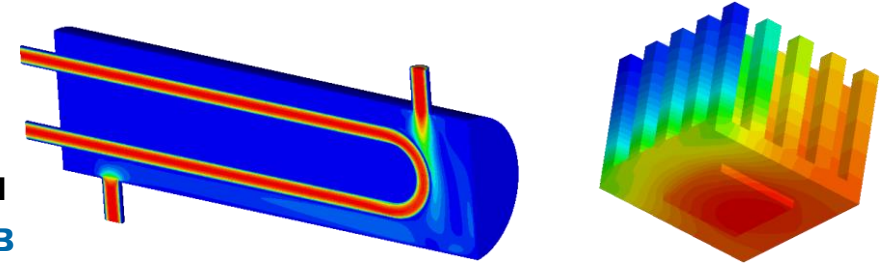
APM FGA предназначен для анализа кинематических, динамических, тепловых, энергетических и силовых характеристик течений жидких и газовых сред на базе RANS уравнений, а также количественной и качественной оценки их влияния на различные инженерно-технические объекты

гидравлическое оборудование различного назначения, в которых **жидкость выступает в качестве рабочей среды**

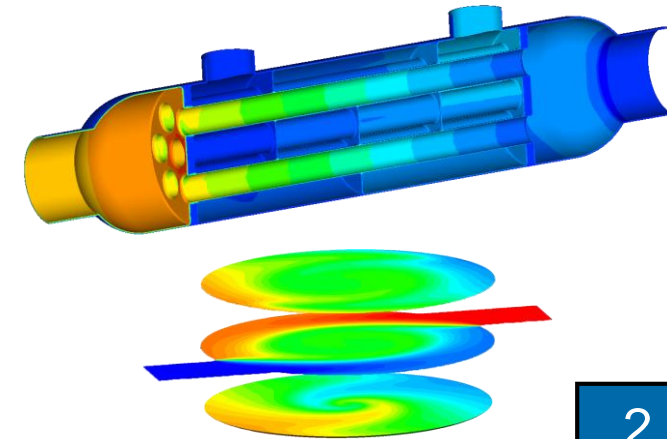
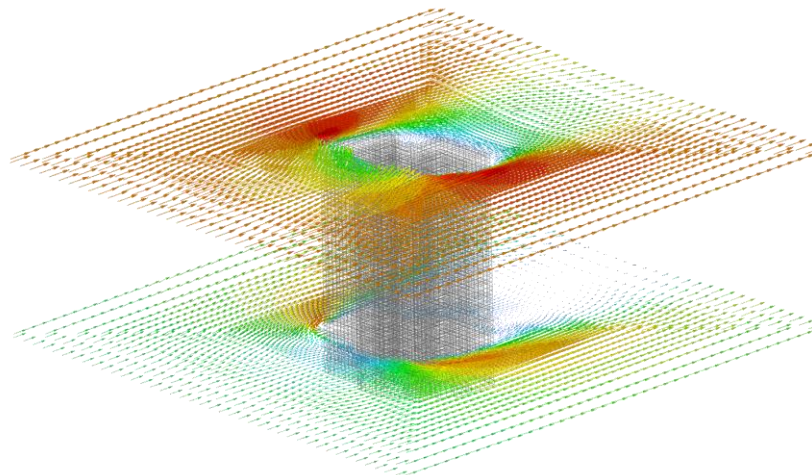


применение

системы нагрева, охлаждения и вентиляции, в которых **жидкость или газ выступают в качестве теплоносителей**



объекты, которые подвергаются воздействиям **ветровых потоков**





APM FGA создан на базе связанных **модулей**:

- **APM Structure3D** – конечно-элементный редактор, имеющий расширенный функционал
- **APM Studio** – геометрический редактор

Каждый из модулей может выполнять функции **препроцессора, процессора и постпроцессора**

Свойства течений:

- плотность
- вязкость
- удельная теплоемкость
- теплопроводность

Граничные условия:

- скорость
- давление
- расход
- ускорение
- турбулентность
- температура
- тепловой поток
- тепловая конвекция

Модели турбулентности:

- алгебраическая
- кинетической энергии

Сопряженные постановки (в единой модели):

- сопряженный теплообмен
- односторонний FSI

основные функциональные возможности

Физика течений:

- ламинарная / турбулентная
- изотермическая / термическая

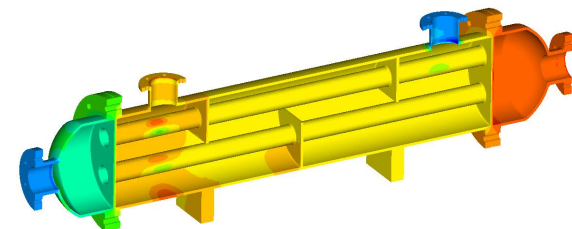
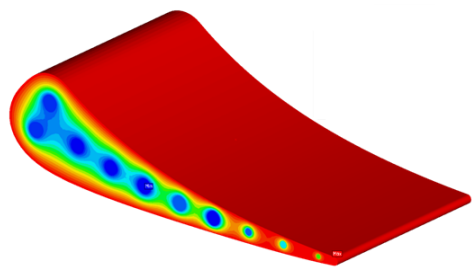
Численный метод: метод конечных элементов

Типы элементов:

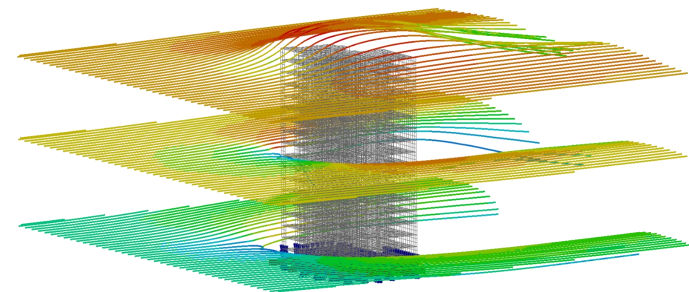
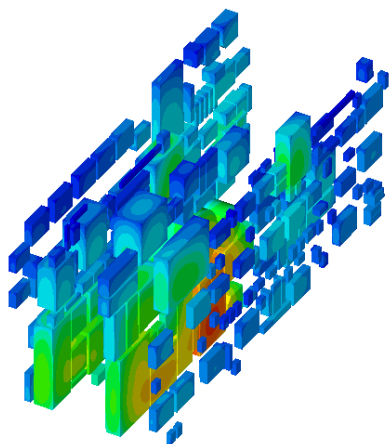
- 4-х узловой тетраэдр,
- 5-и узловая пирамида,
- 6-и узловая призма,
- 8-и узловой гексаэдр,
- фиктивные элементы.

Процессы теплообмена:

- теплопроводность
- конвекция (адвекция, вынужденная, свободная)
- излучение
- смешанные

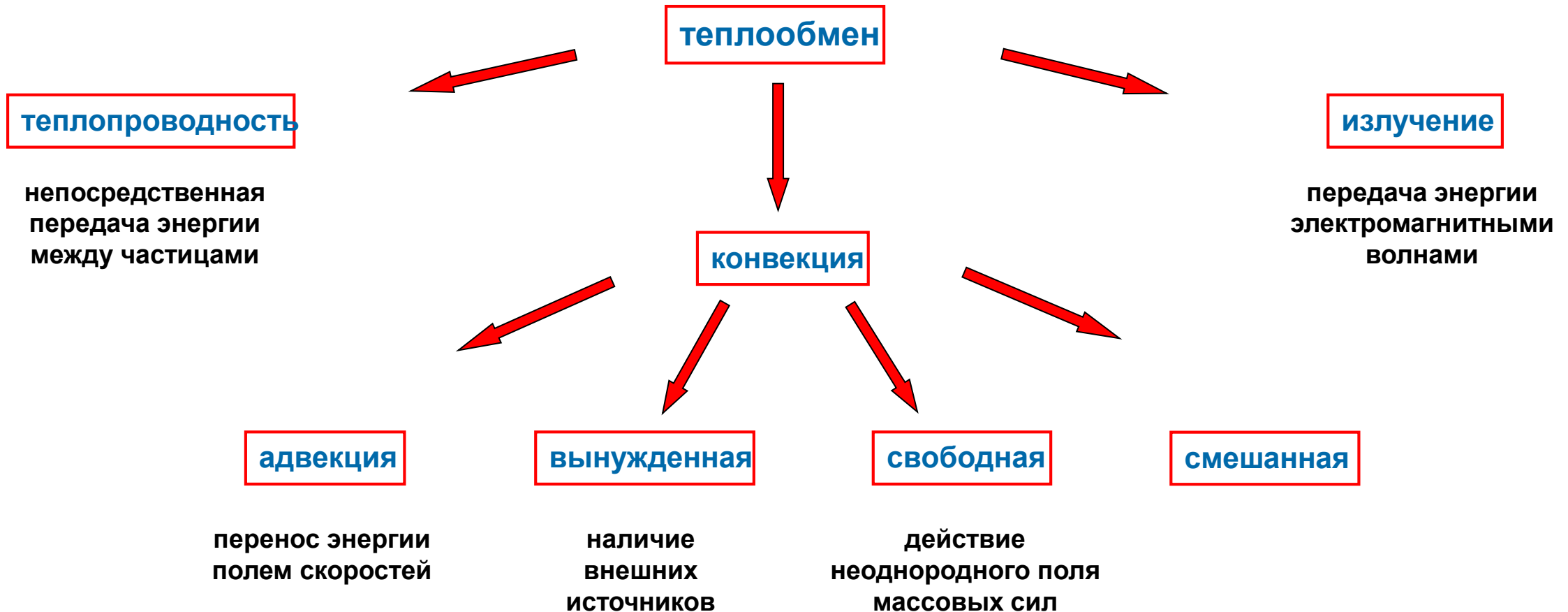


Решение задач сопряженного теплообмена и одностороннего FSI с помощью APM FGA





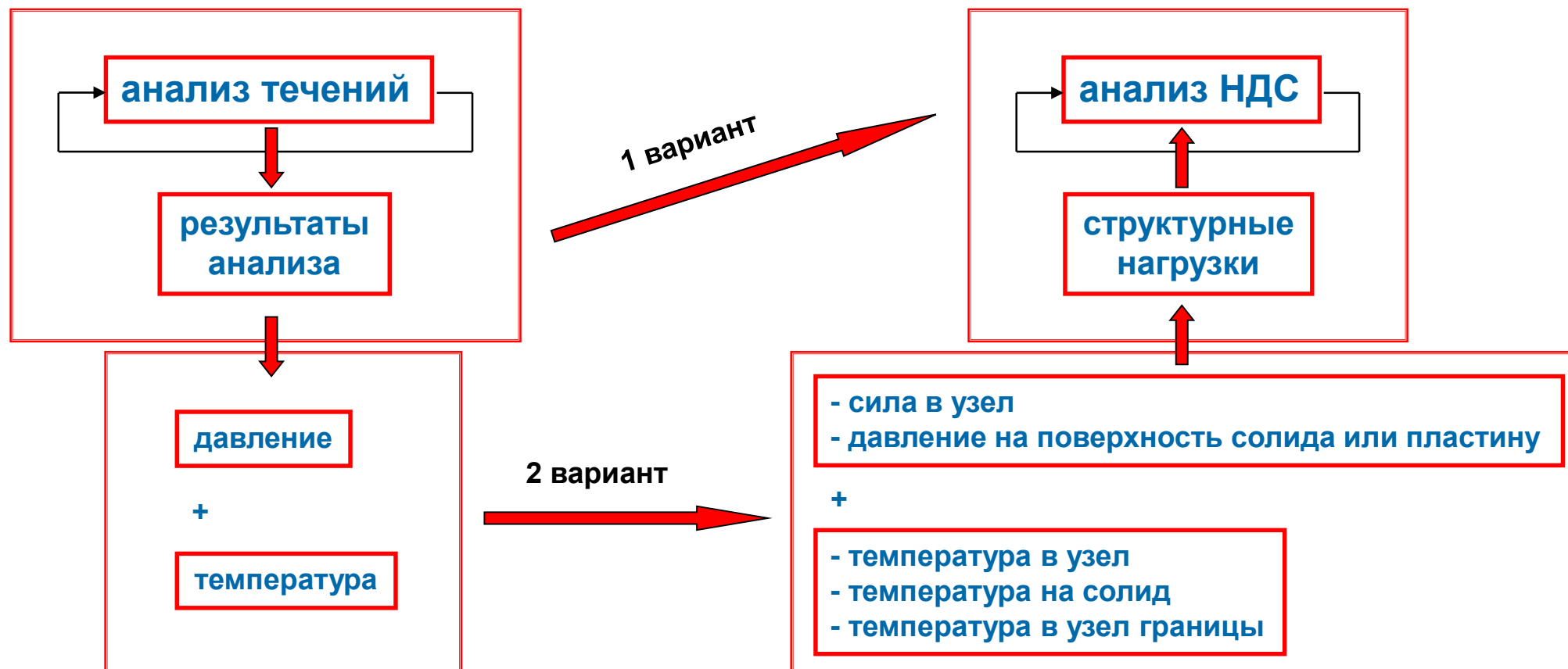
процессы теплообмена термических течений





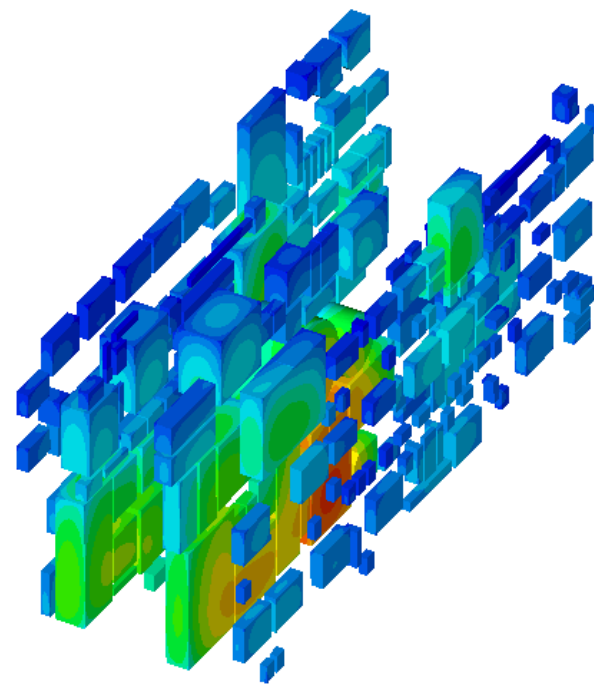
сопряженные постановки задач

- анализ сопряженного теплообмена
- односторонний анализ FSI (One-Way Coupled Fluid Structure Interaction)





Моделирование охлаждения электронного устройства воздушным потоком

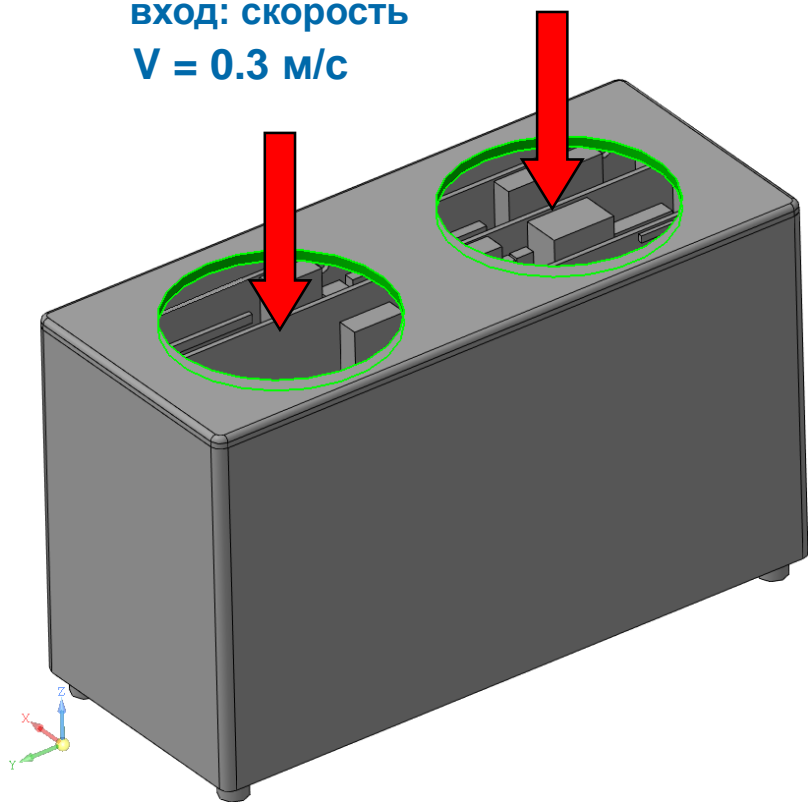


Сопряженный теплообмен

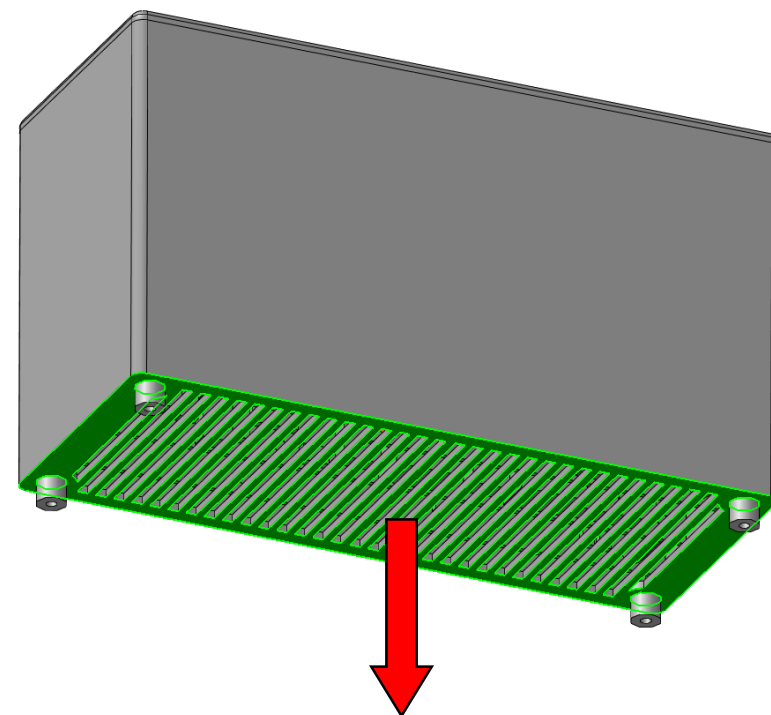
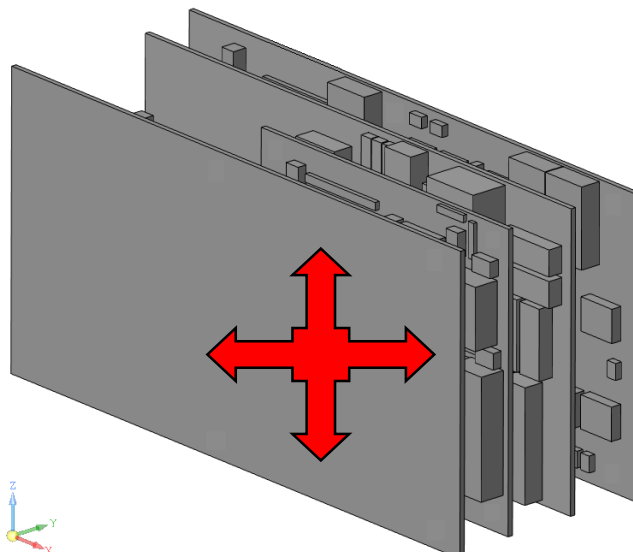


геометрическая модель и граничные условия

вход: скорость
 $V = 0.3 \text{ м/с}$



тепловой поток
 $Hf = 0.3 \dots 1 \text{ Вт/м}^2$

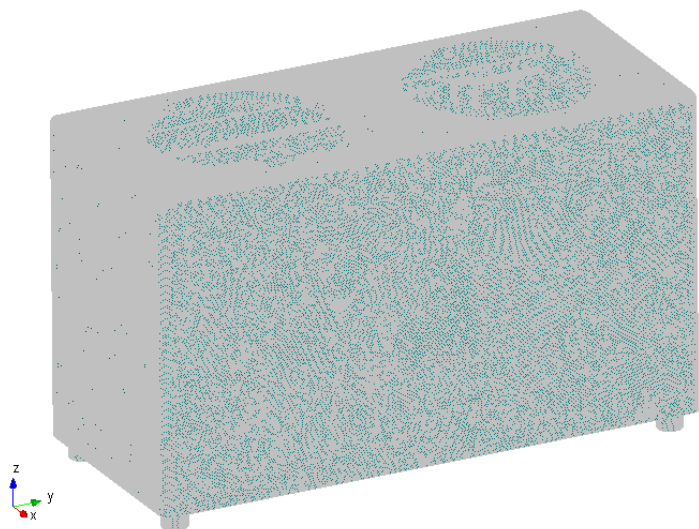


выход: давление
 $P = 0$



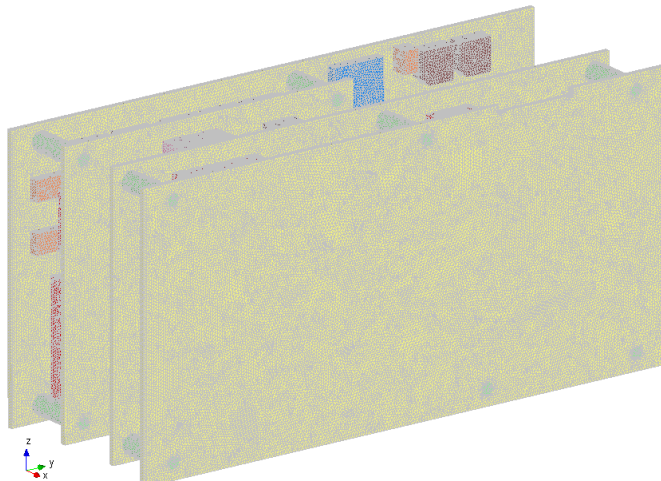
КЭ сетка и физические свойства материалов

число элементов модели ~ 15 млн.



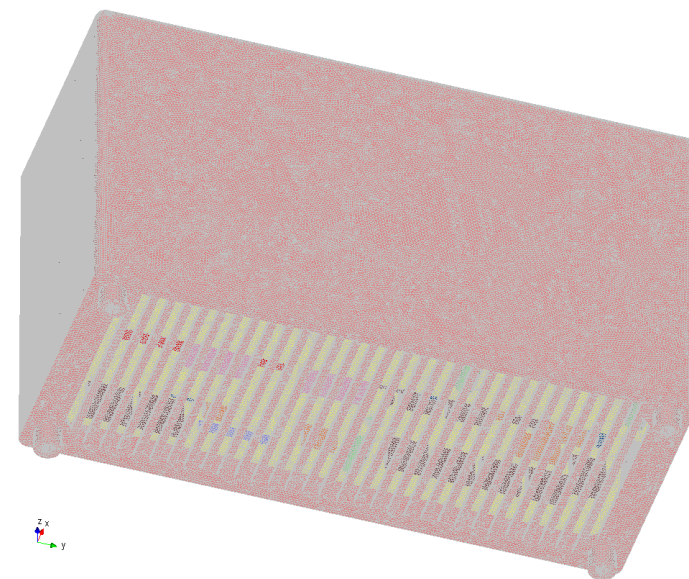
свойства воздуха

Свойство	Значение
<input type="checkbox"/> Плотность	
<input checked="" type="checkbox"/> Значение[кг/м ³]	1.3
<input type="checkbox"/> Вязкость	
<input checked="" type="checkbox"/> Значение[Па*с]	2e-05
<input type="checkbox"/> Удельная теплоемкость	
<input checked="" type="checkbox"/> Значение[Дж/(кг*K)]	1000
<input type="checkbox"/> Теплопроводность	
<input checked="" type="checkbox"/> Значение[Вт/(м*K)]	0.022



свойства текстолита

Свойство	Значение
<input type="checkbox"/> Удельная теплоемкость	
<input checked="" type="checkbox"/> Значение[Дж/(кг*K)]	1200
<input type="checkbox"/> Теплопроводность	
<input checked="" type="checkbox"/> Значение[Вт/(м*K)]	0.3



свойства алюминия

Свойство	Значение
<input type="checkbox"/> Удельная теплоемкость	
<input checked="" type="checkbox"/> Значение[Дж/(кг*K)]	900
<input type="checkbox"/> Теплопроводность	
<input checked="" type="checkbox"/> Значение[Вт/(м*K)]	200

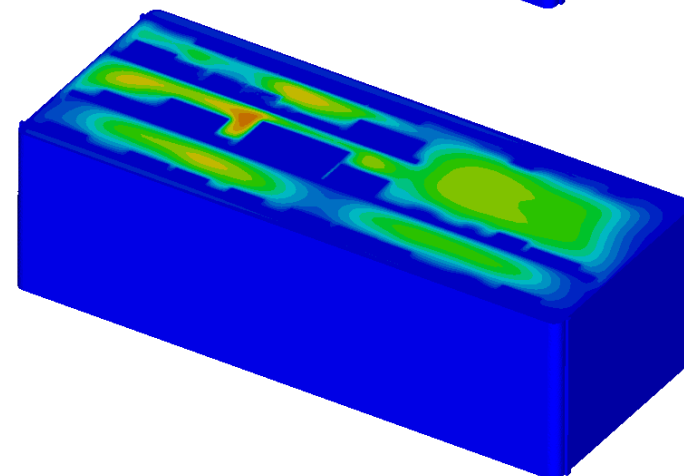
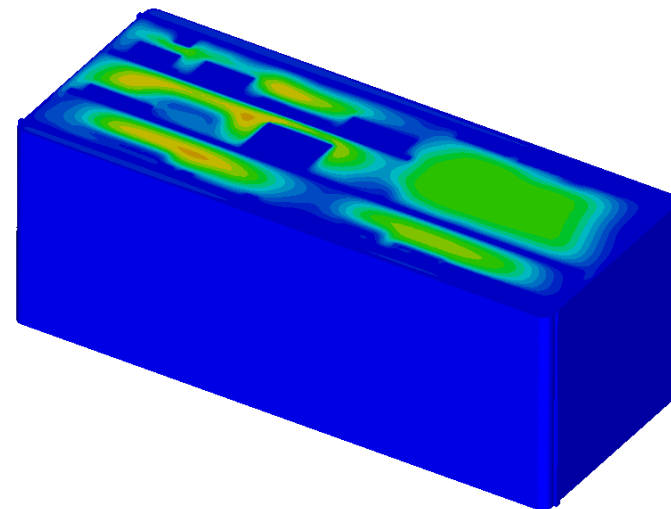
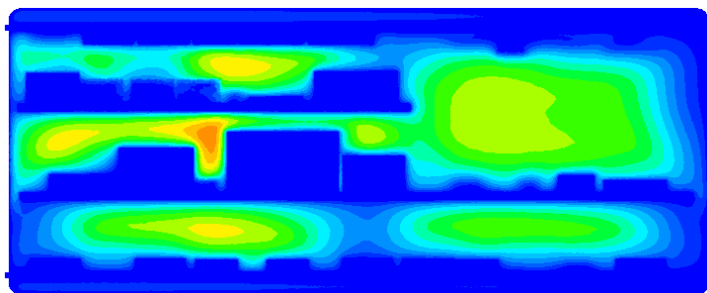
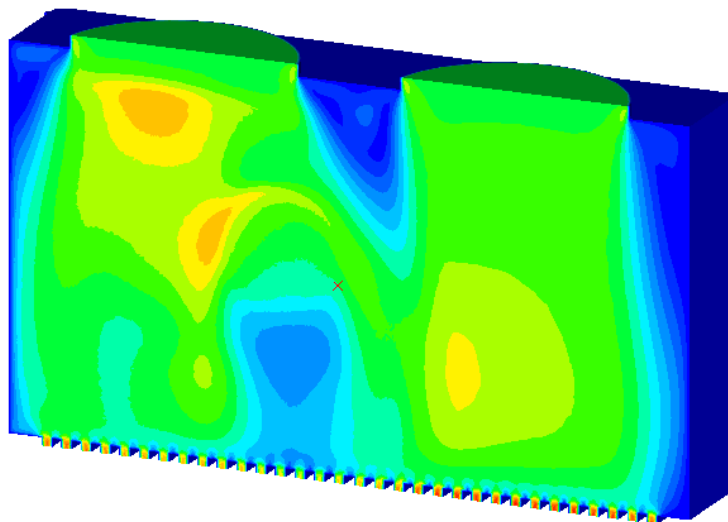
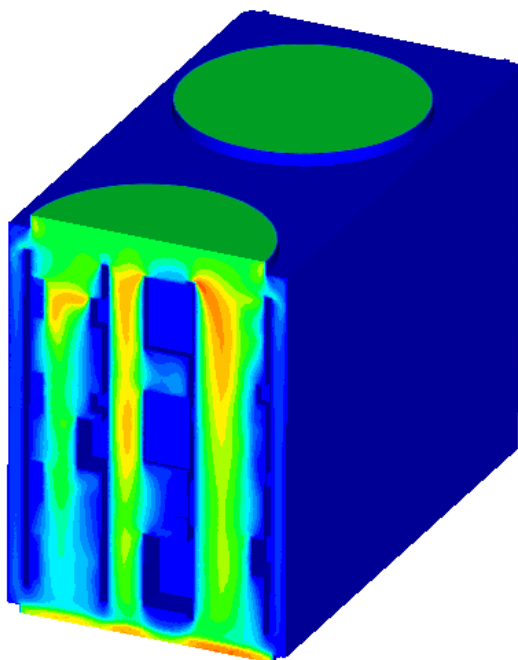
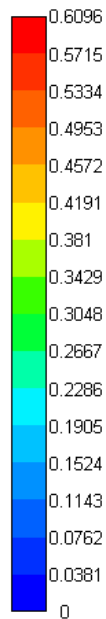
свойства стали

Свойство	Значение
<input type="checkbox"/> Удельная теплоемкость	
<input checked="" type="checkbox"/> Значение[Дж/(кг*K)]	462
<input type="checkbox"/> Теплопроводность	
<input checked="" type="checkbox"/> Значение[Вт/(м*K)]	55



поля скоростей

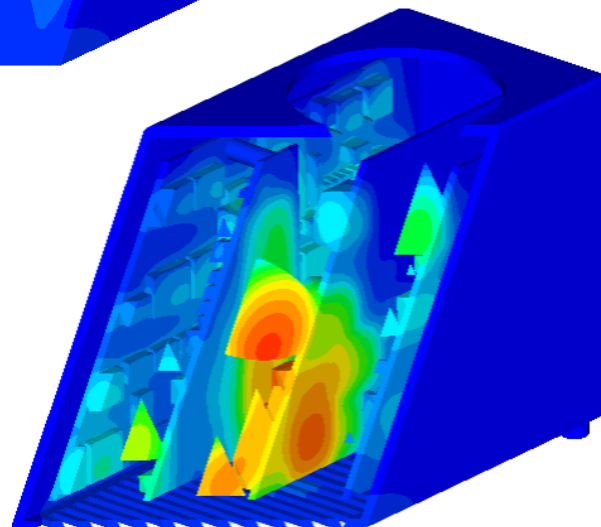
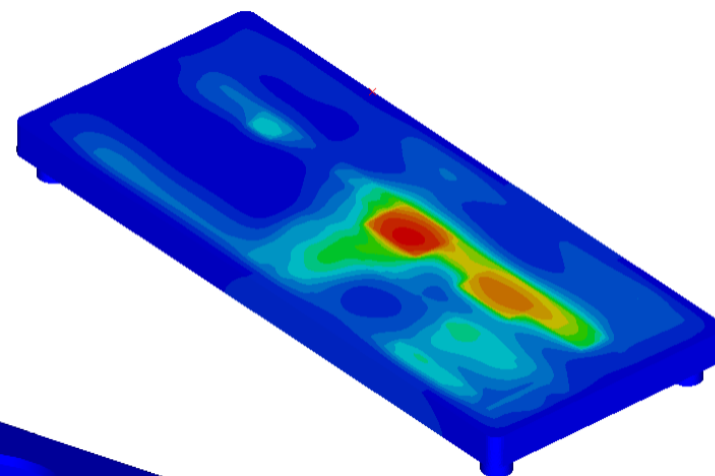
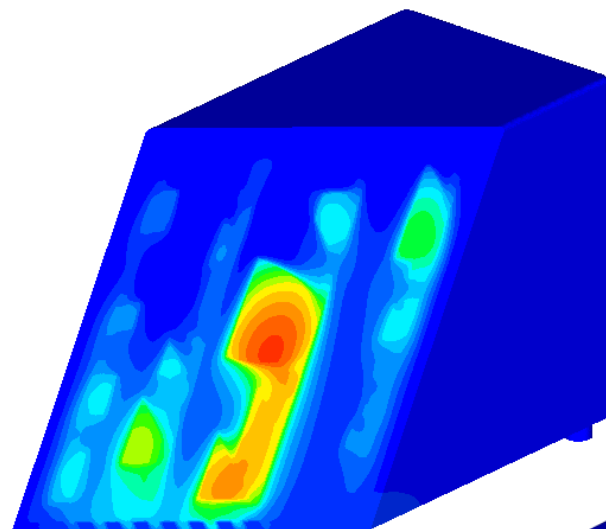
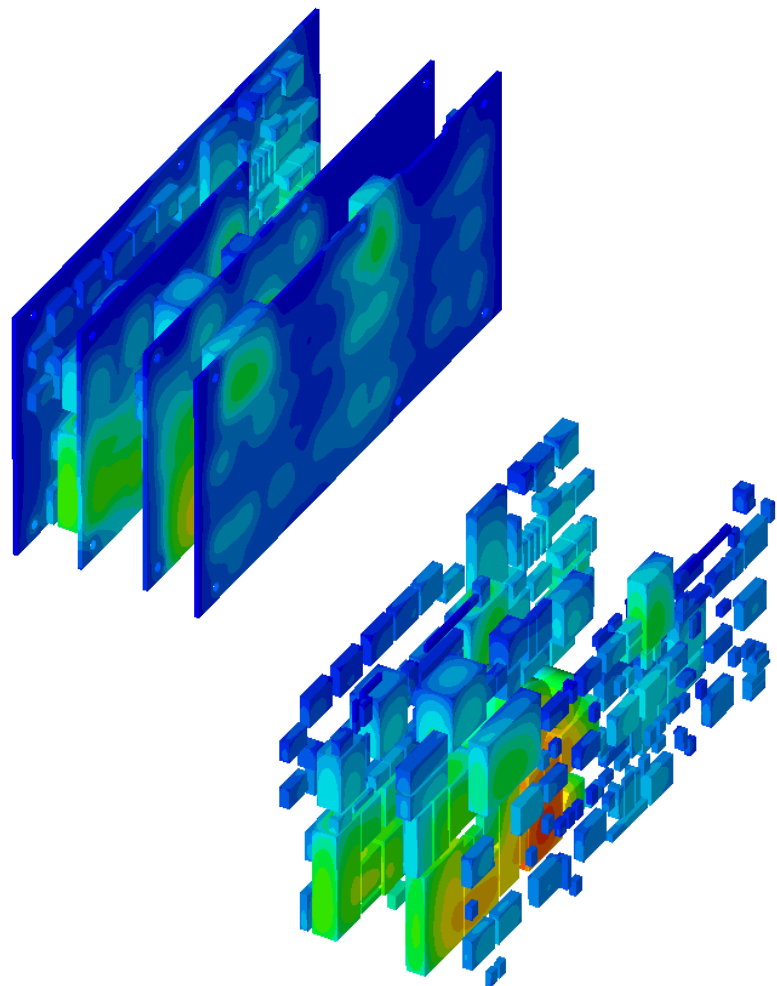
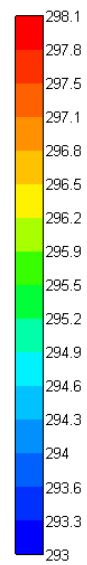
FLOW_VELSUM[m/c]





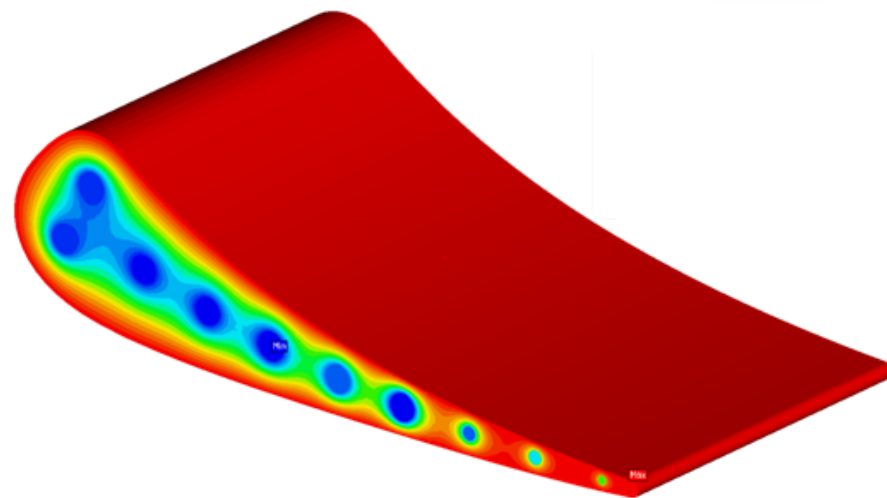
поля температур

FLOW_TEMP[K]





Моделирование водяного охлаждения лопатки турбины ГТД

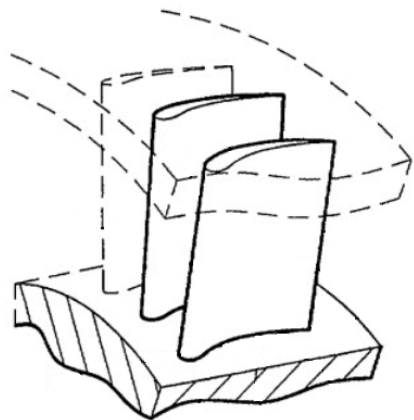


Сопряженный теплообмен



постановка задачи

охлаждение лопаток начальных ступеней турбины ГТД жидкостью для снижения параметров термического НДС

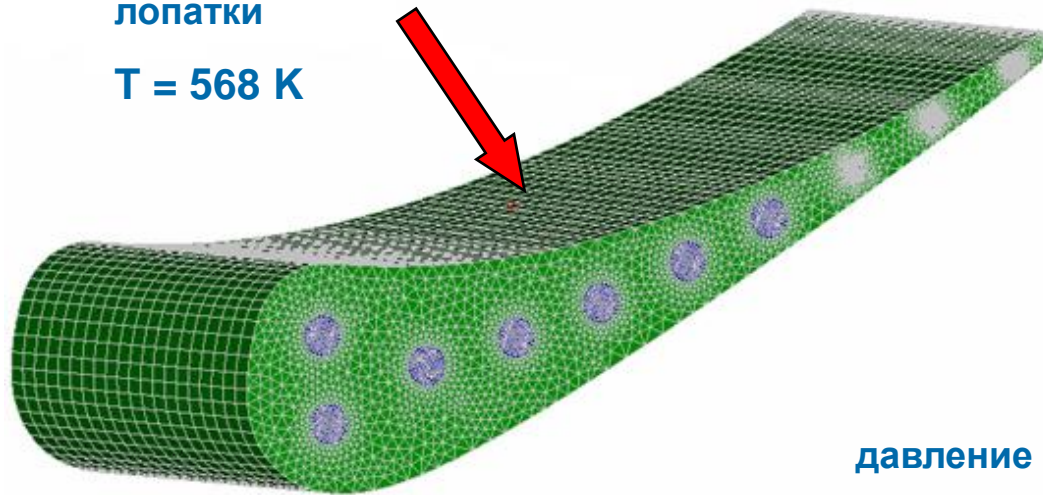


свойства жидкости

Свойство	Значение
<input checked="" type="checkbox"/> Плотность	
<input checked="" type="checkbox"/> Значение[кг/м ³]	1000
<input checked="" type="checkbox"/> Вязкость	
<input checked="" type="checkbox"/> Значение[Па*с]	0.001
<input checked="" type="checkbox"/> Удельная теплоемкость	
<input checked="" type="checkbox"/> Значение[Дж/(кг*К)]	4187
<input checked="" type="checkbox"/> Теплопроводность	
<input checked="" type="checkbox"/> Значение[Вт/(м*К)]	0.6

температура внешней стенки лопатки

$T = 568 \text{ K}$



число элементов модели ~ 100 тыс.

свойства стали

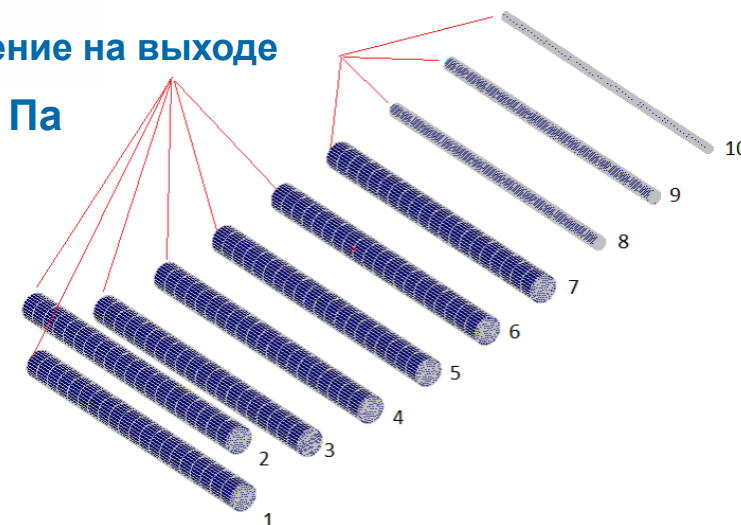
Свойство	Значение
<input checked="" type="checkbox"/> Удельная теплоемкость	
<input checked="" type="checkbox"/> Значение[Дж/(кг*К)]	462
<input checked="" type="checkbox"/> Теплопроводность	
<input checked="" type="checkbox"/> Значение[Вт/(м*К)]	55

граничные условия на входе

№ трубки	Давление, Па	Температура, К
1	268	349
2	294	349
3	268	340
4	304	342
5	294	334
6	301	365
7	277	343
8	562	365
9	220	409
10	324	453

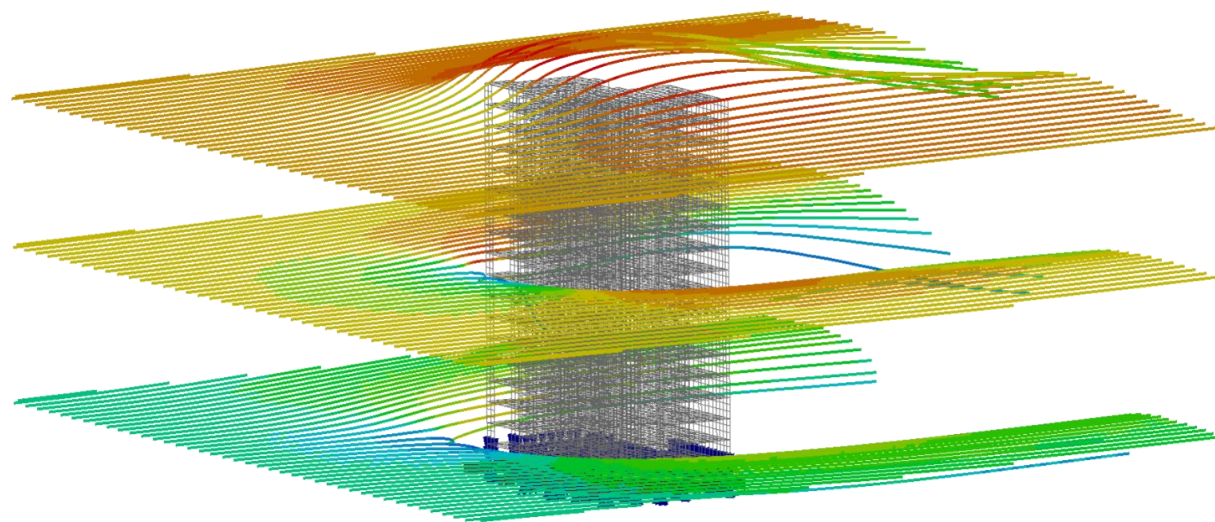
давление на выходе

$P = 0 \text{ Па}$





Моделирование обдува здания воздушным поток

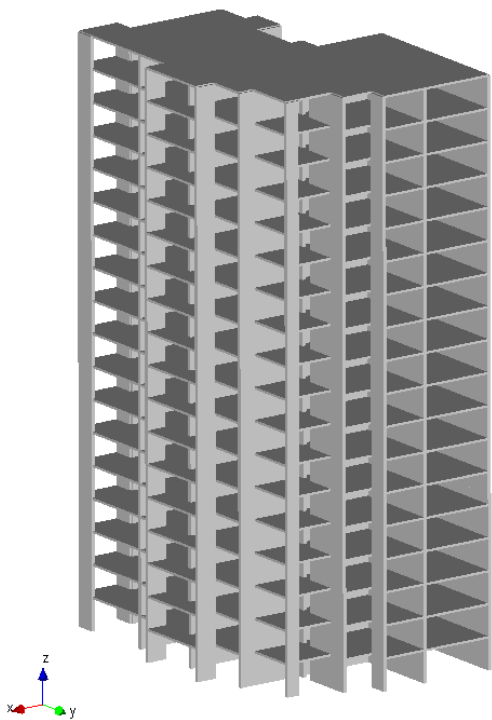


Односторонний FSI

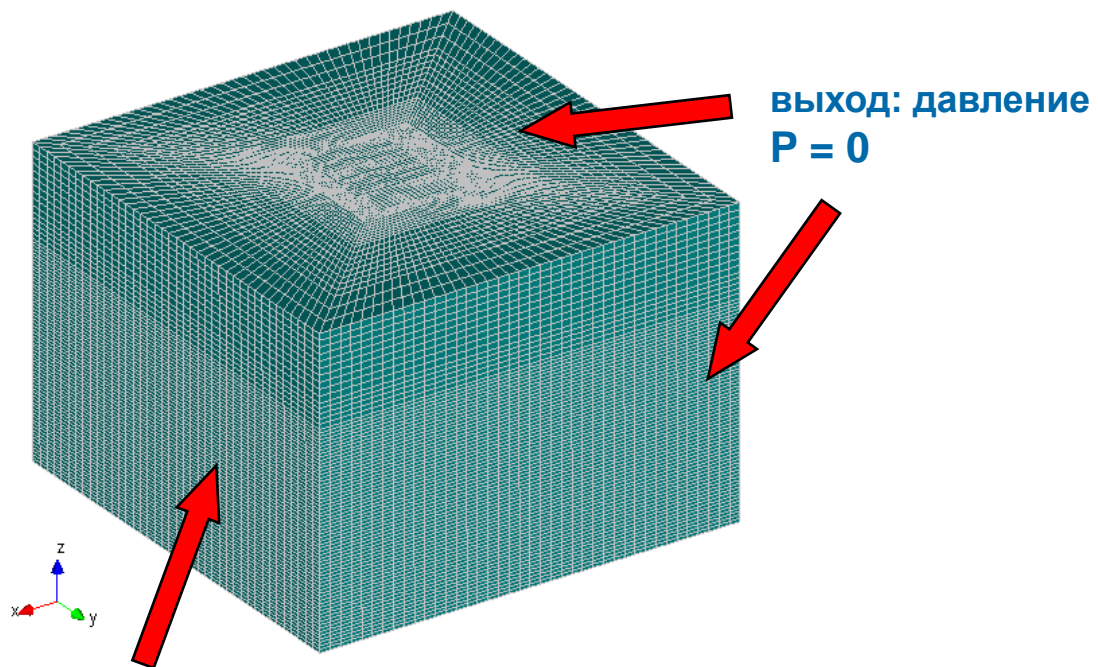


постановка задачи

КЭ сетка воздушного пространства

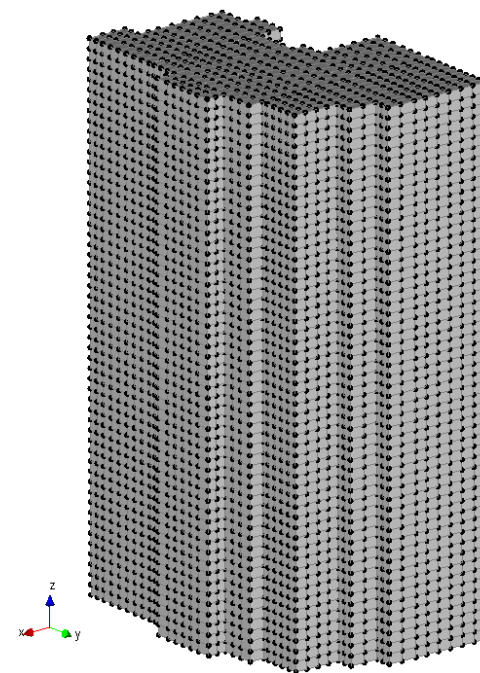


несущий ЖБ каркас



вход: скорость
 $V_x = -21 \cdot 0.425 \cdot \ln(z+1) \text{ м/с}$
 $V_y = V_z = 0$

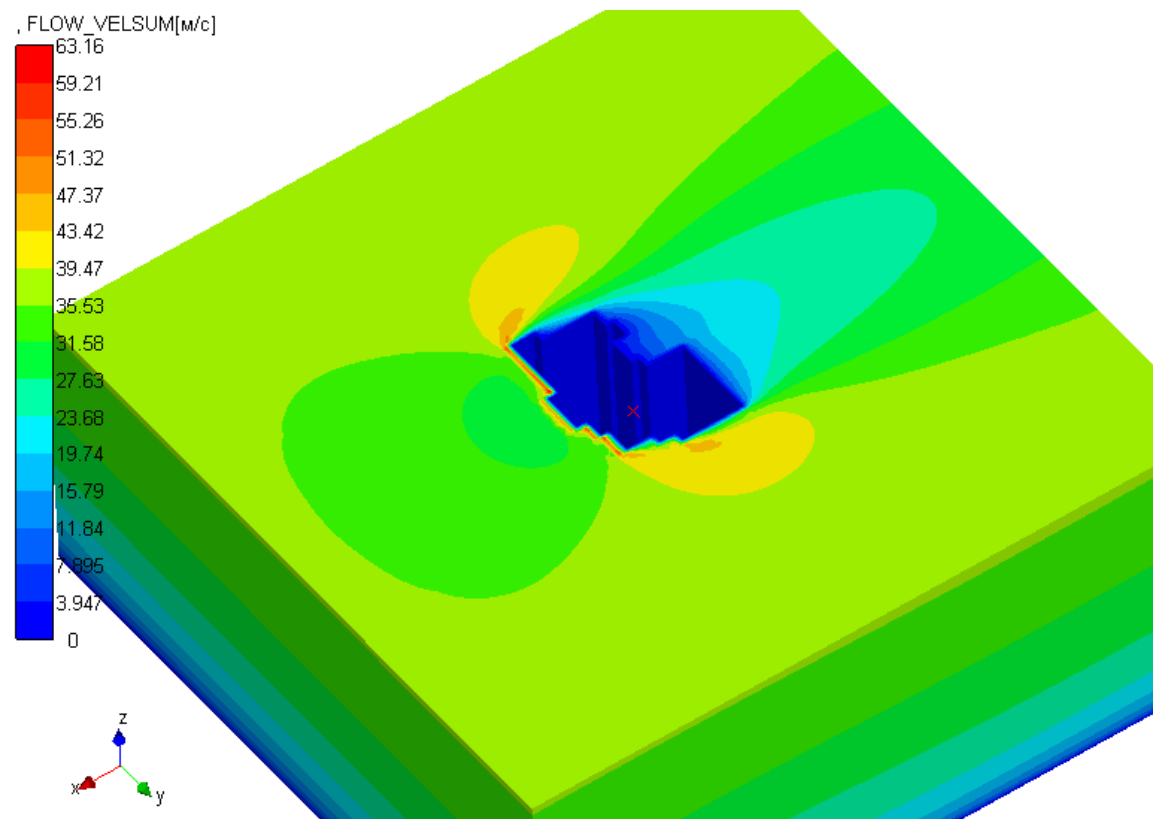
число элементов модели ~ 1 млн.



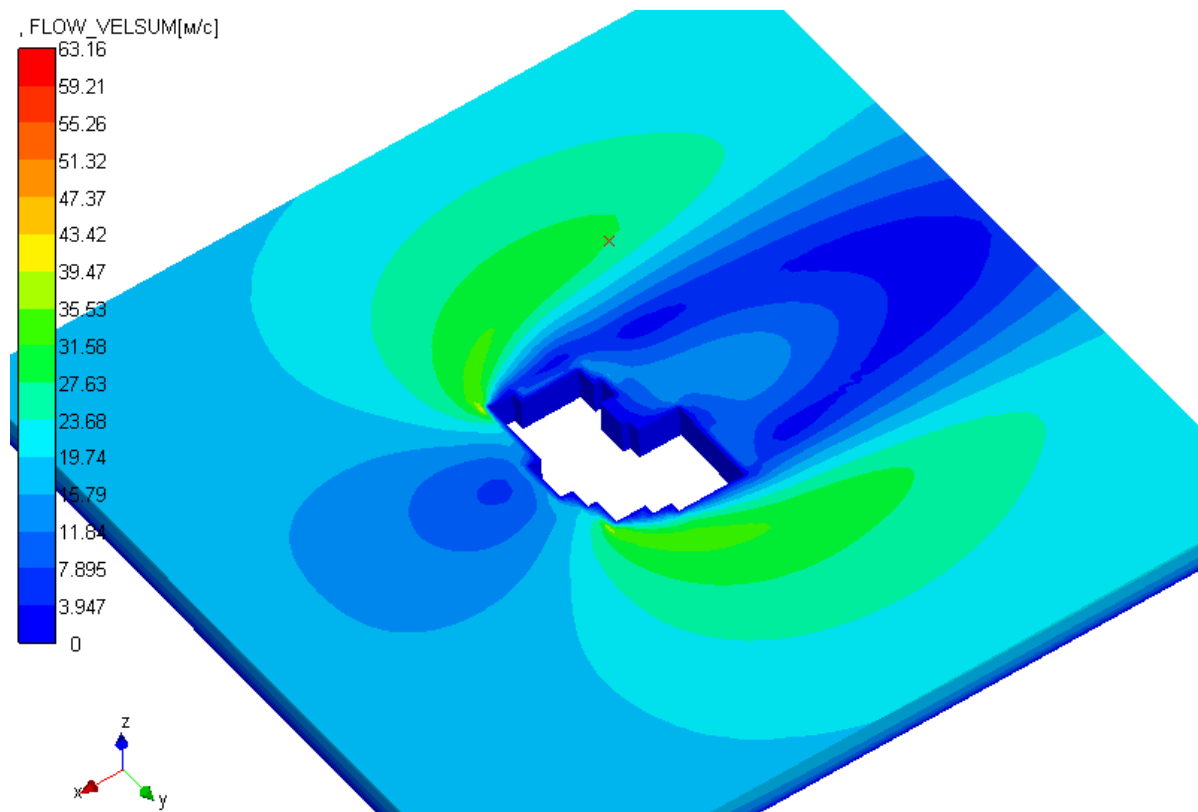
КЭ сетка фасада



поля скоростей



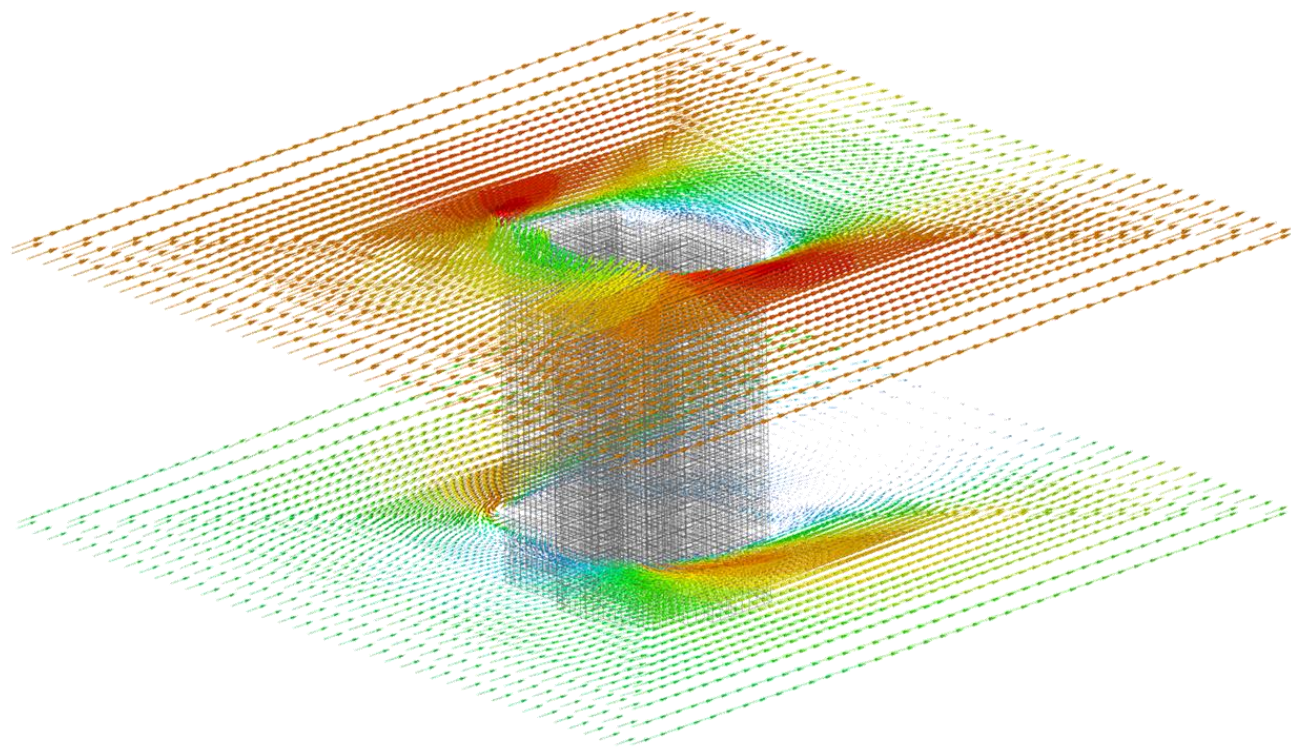
на уровне 50м



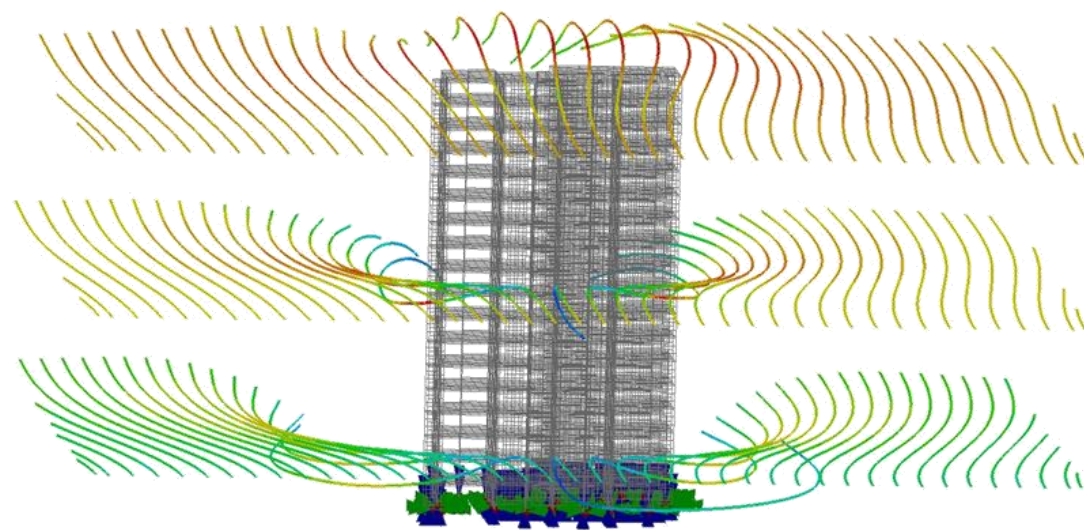
на уровне 10м



поля скоростей



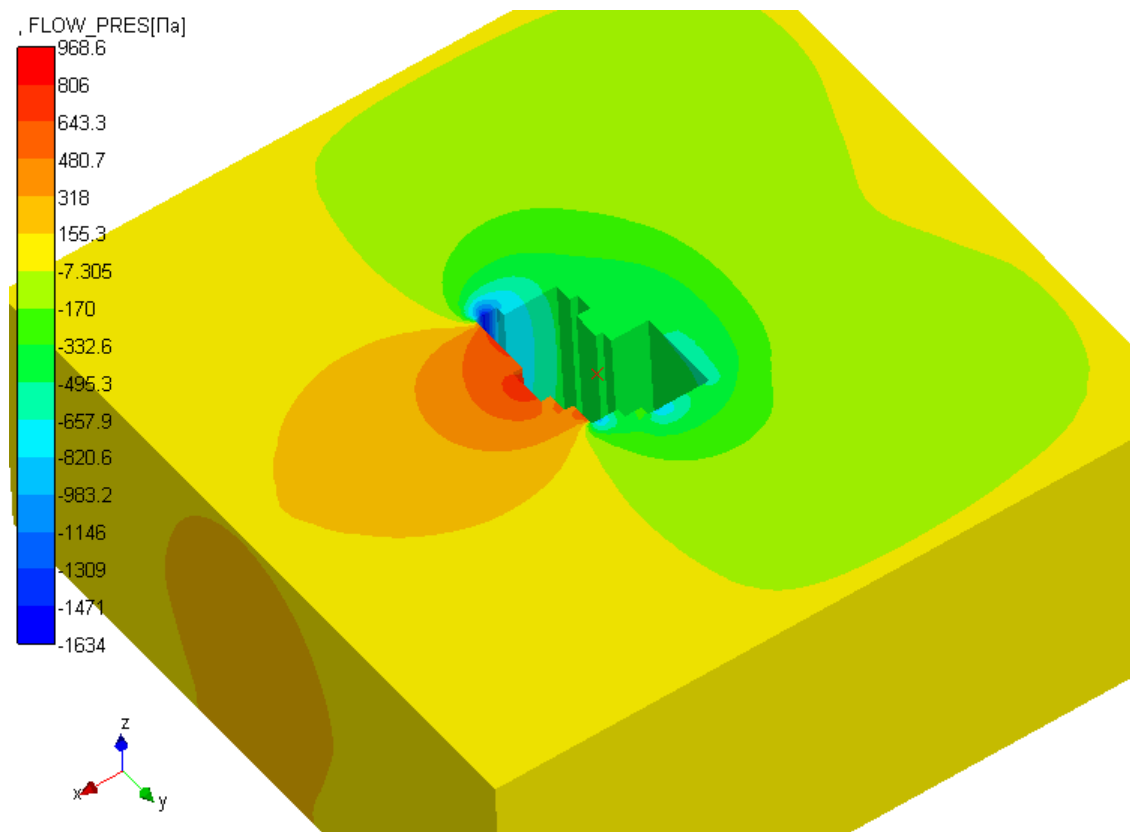
векторная карта



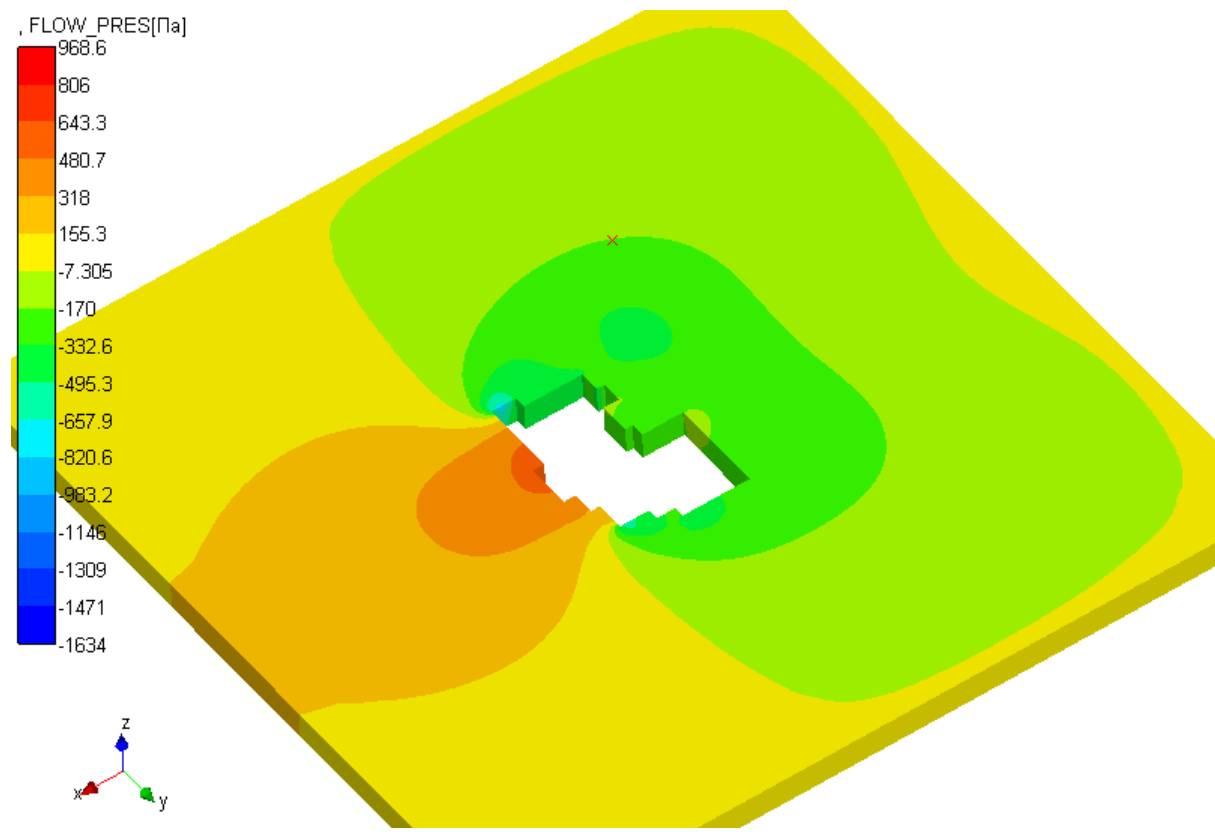
линии тока



поля давлений



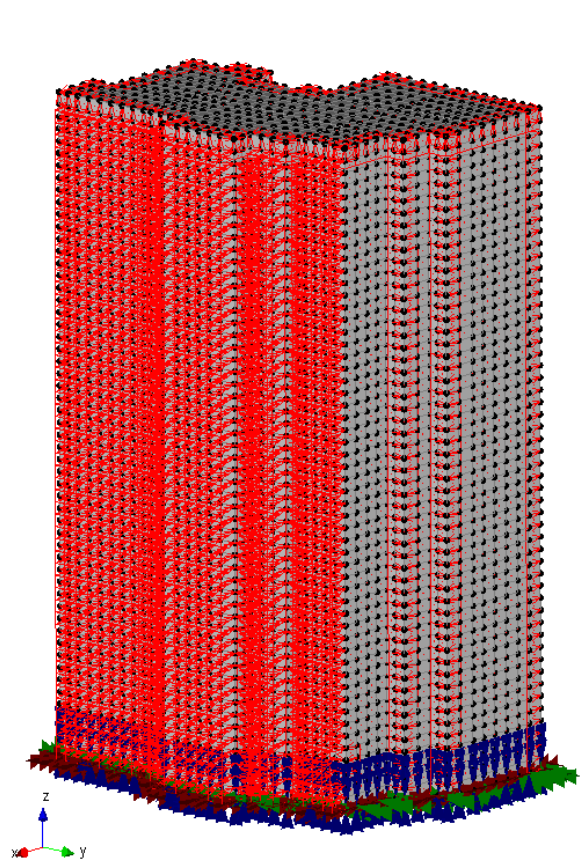
на уровне 50м



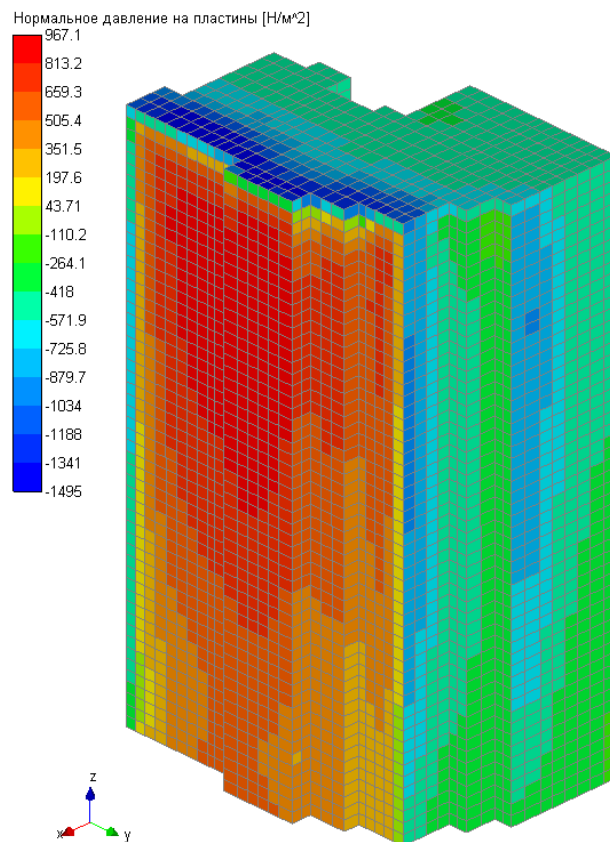
на уровне 10м



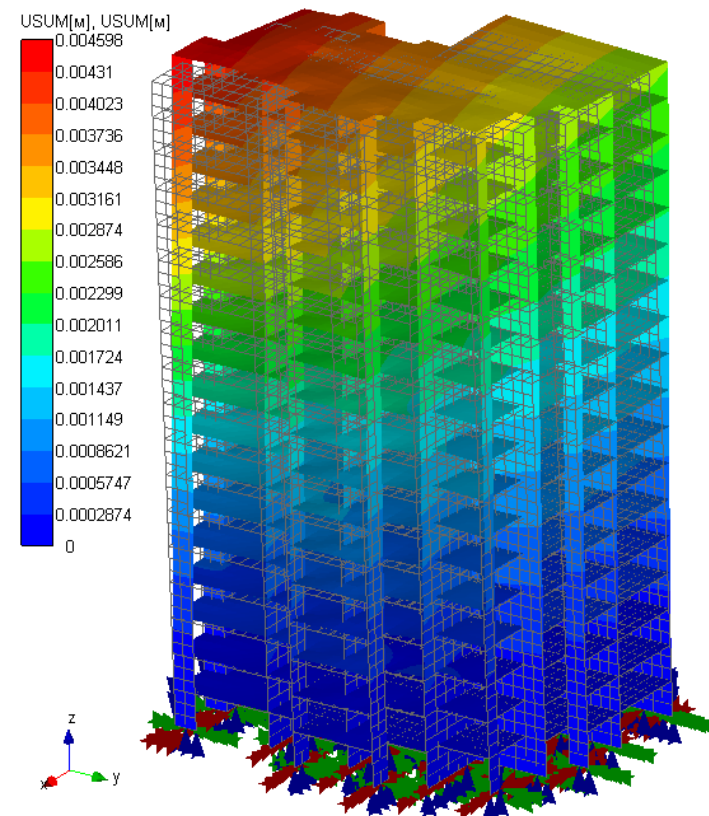
НДС с учетом полей давлений



результат создания структурной
нагрузки давления на пластины



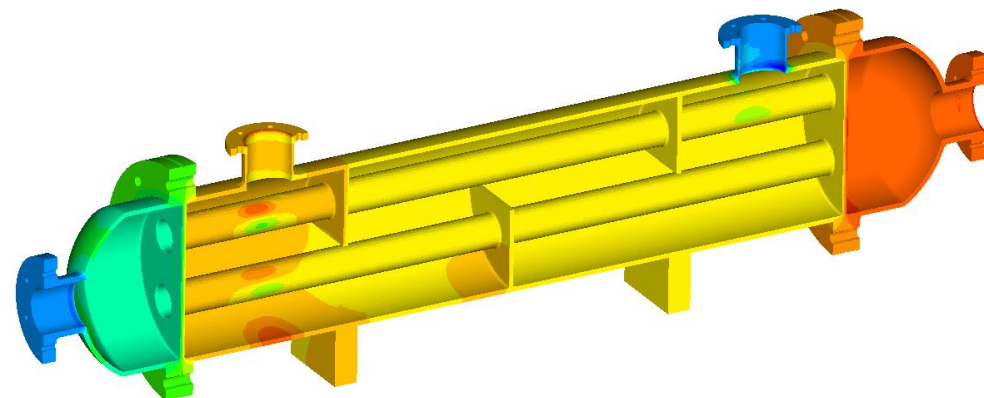
поле давлений на
КЭ сетке фасада



поле перемещений
несущего каркаса



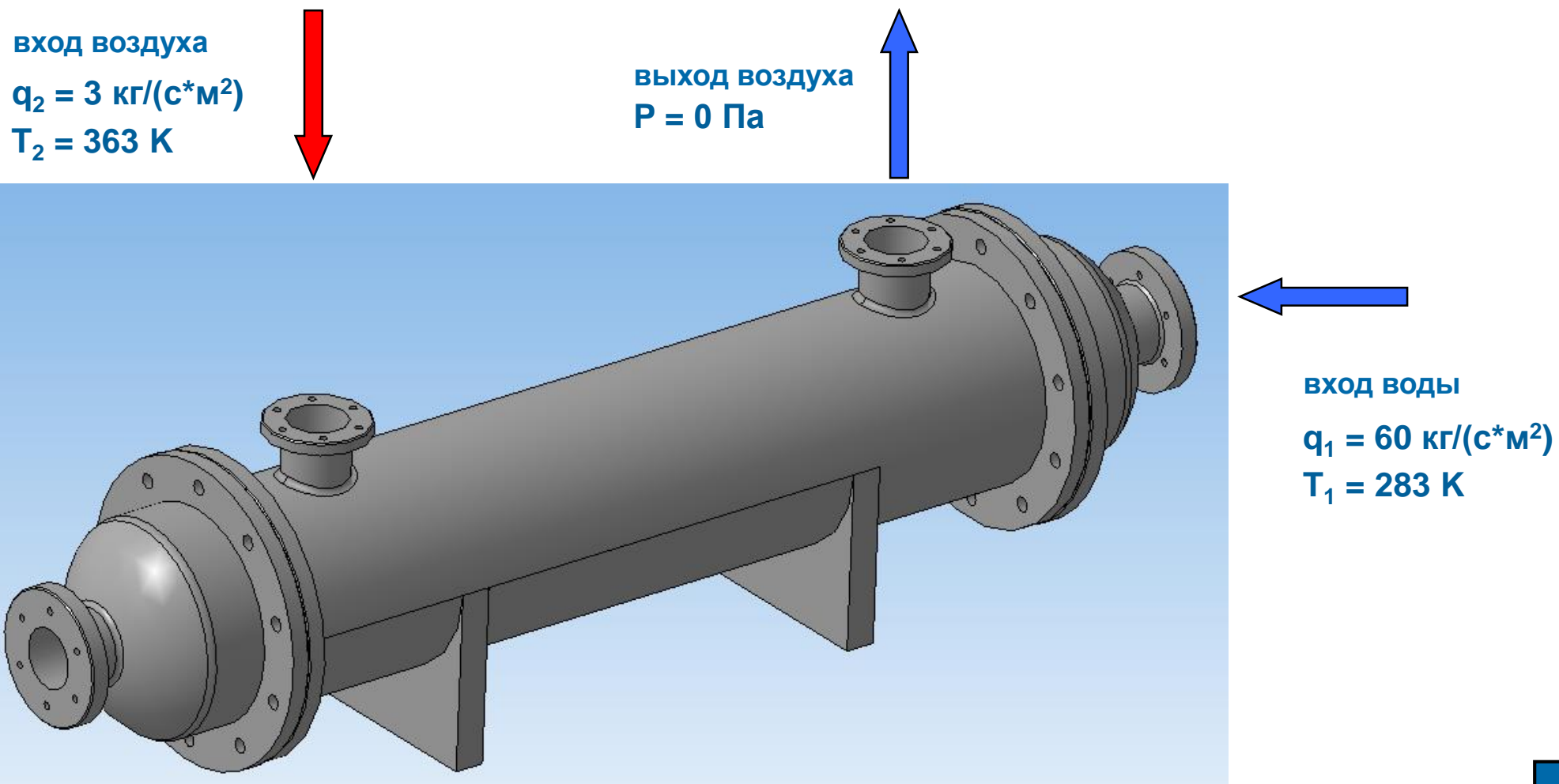
Моделирование течений воды и воздуха в теплообменном аппарате



Сопряженный теплообмен + односторонний FSI



геометрическая модель и граничные условия





КЭ сетка и физические свойства материалов

число элементов модели ~ 5 млн.

твердое тело
(сталь)

газ
(воздух)

жидкость
(вода)

свойства газа

Объекты	
Расчетная модель	
Материалы	
gas	
Изотропный материал	
Течение	
steel	
water	

Свойства	
Свойство	Значение
Плотность	
<input checked="" type="checkbox"/> Значение[кг/м ³]	1.3
Вязкость	
<input checked="" type="checkbox"/> Значение[Па*с]	1.831e-05
Удельная теплоемкость	
<input checked="" type="checkbox"/> Значение[Дж/(кг*К)]	1004.4
Теплопроводность	
<input checked="" type="checkbox"/> Значение[Вт/(м*К)]	0.0261



свойства твердого тела

Объекты	
Расчетная модель	
Материалы	
gas	
steel	
Изотропный материал	
Течение	
water	

Свойства	
Свойство	Значение
Удельная теплоемкость	
<input checked="" type="checkbox"/> Значение[Дж/(кг*К)]	462
Теплопроводность	
<input checked="" type="checkbox"/> Значение[Вт/(м*К)]	55

свойства жидкости

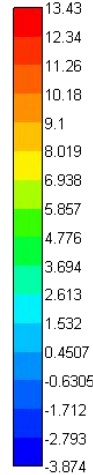
Объекты	
Расчетная модель	
Материалы	
gas	
steel	
water	
Изотропный материал	
Течение	

Свойства	
Свойство	Значение
Плотность	
<input checked="" type="checkbox"/> Значение[кг/м ³]	997
Вязкость	
<input checked="" type="checkbox"/> Значение[Па*с]	0.0008899
Удельная теплоемкость	
<input checked="" type="checkbox"/> Значение[Дж/(кг*К)]	4181.7
Теплопроводность	
<input checked="" type="checkbox"/> Значение[Вт/(м*К)]	0.6069

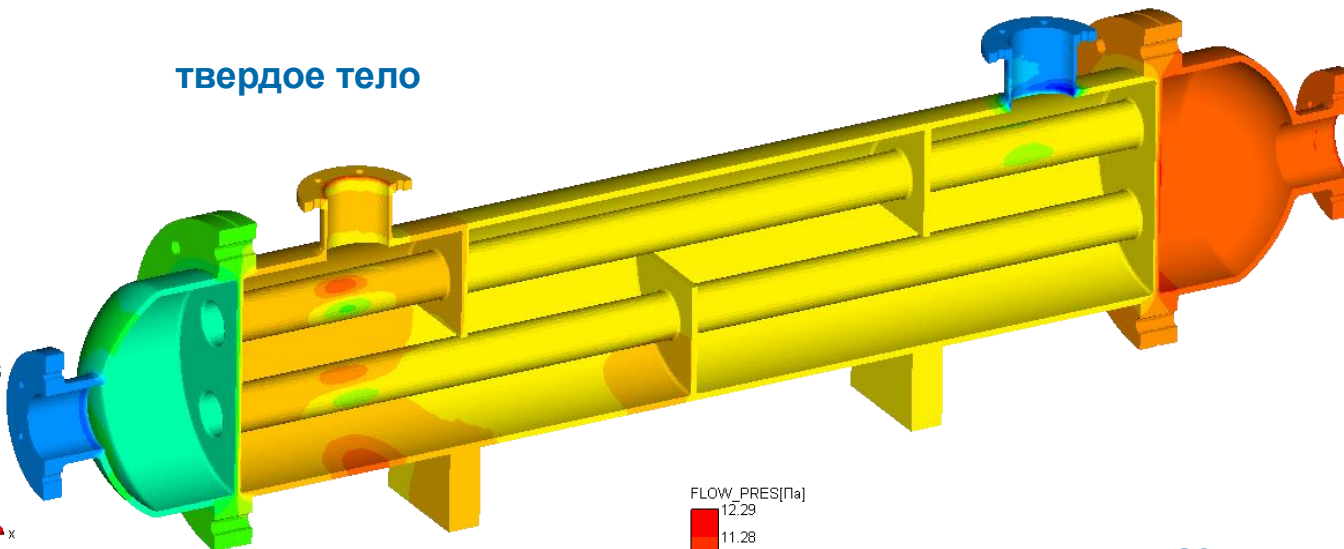


поля давлений

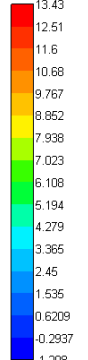
FLOW_PRES[Па]



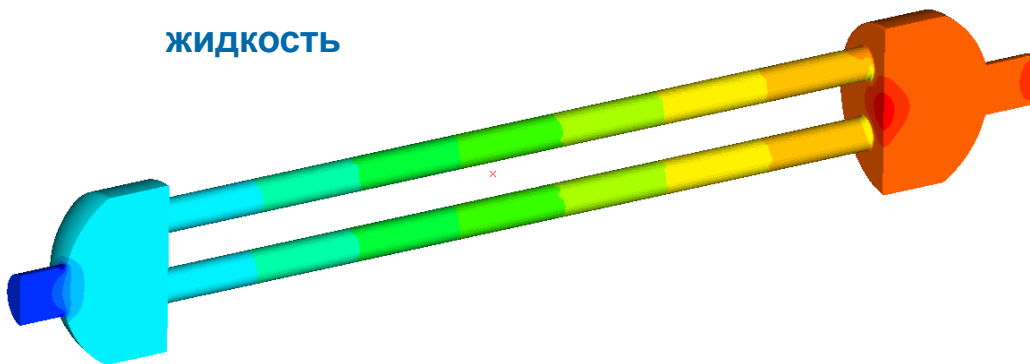
твердое тело



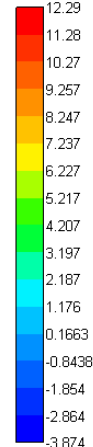
FLOW_PRES[Па]



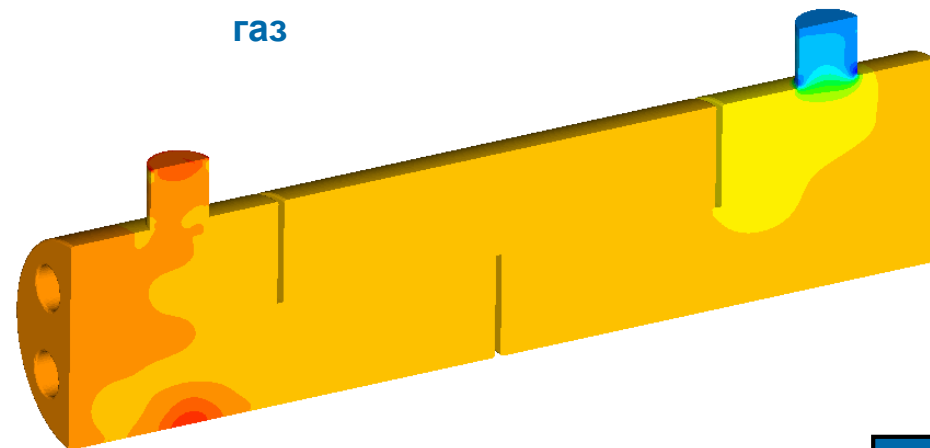
жидкость



FLOW_PRES[Па]



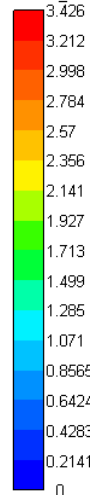
газ



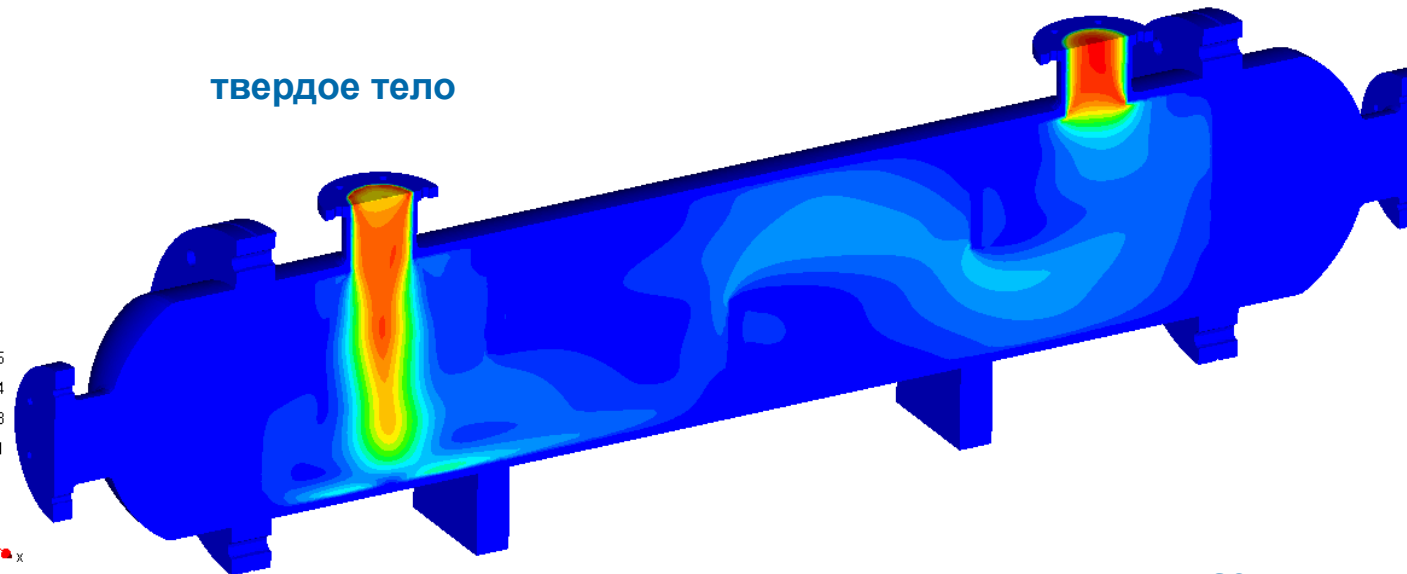


поля скоростей

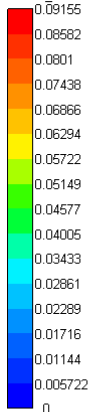
FLOW_VELSUM[m/c]



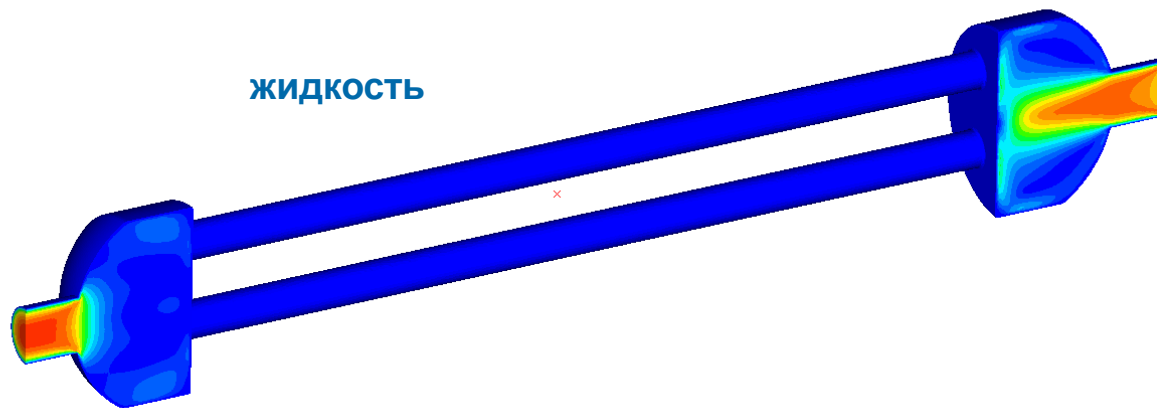
твердое тело



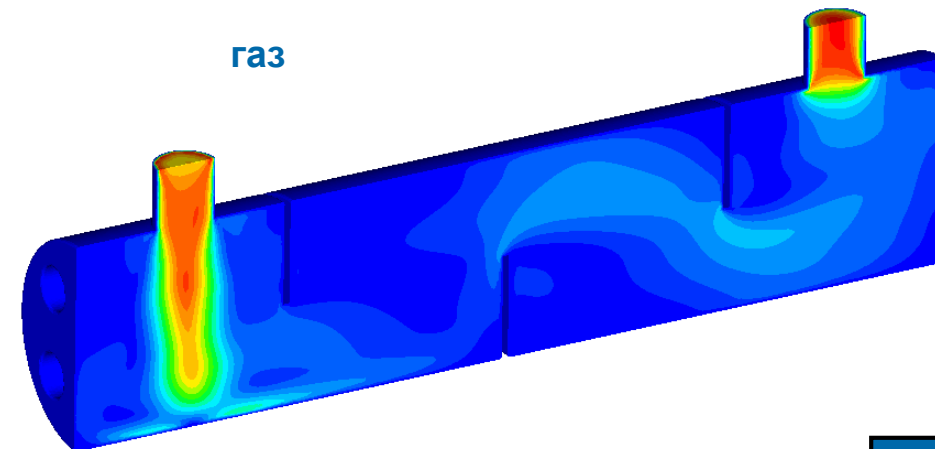
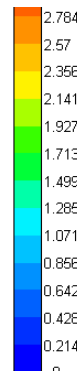
FLOW_VELSUM[m/c]



жидкость



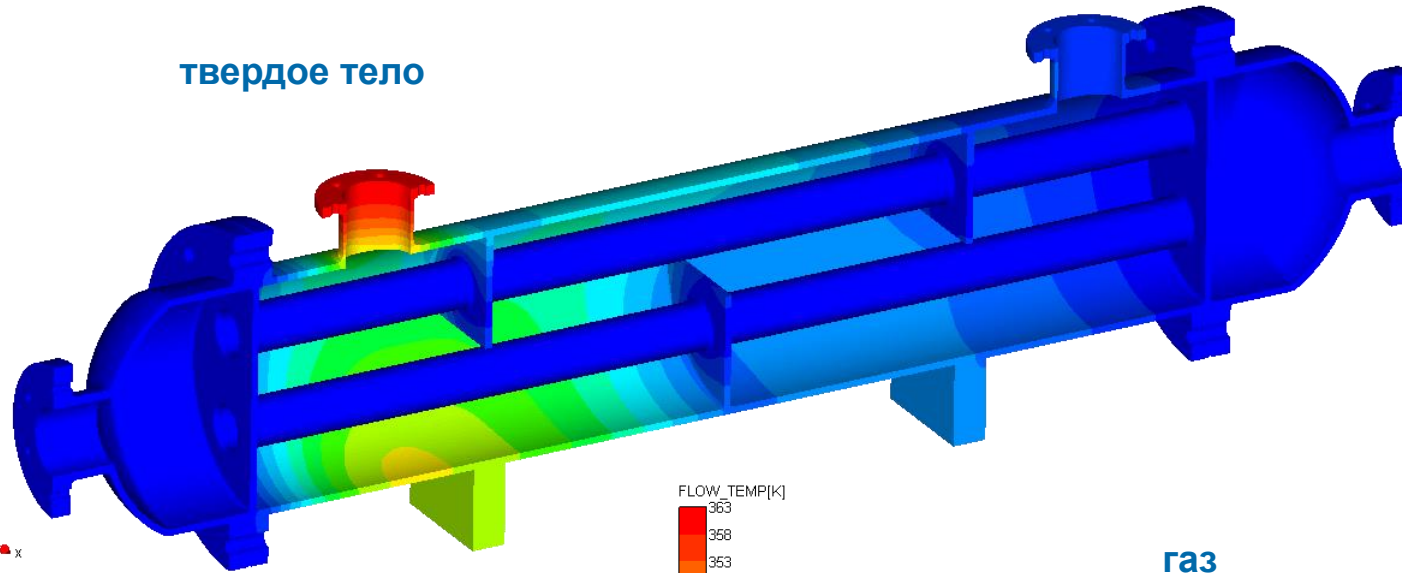
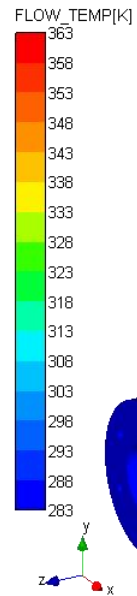
газ





поля температур

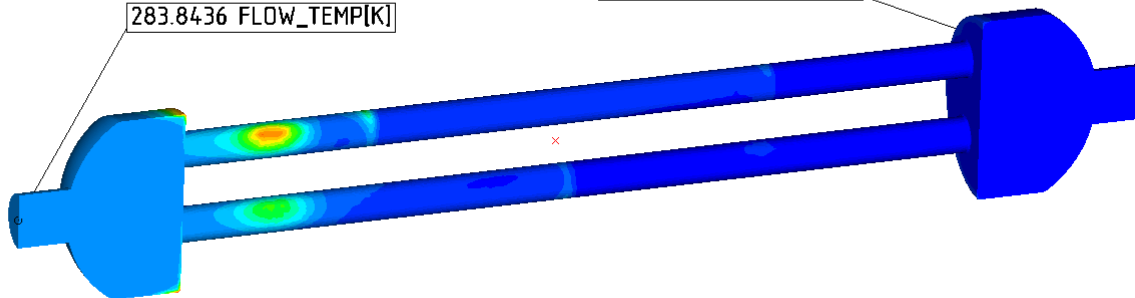
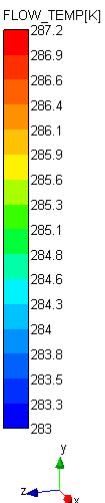
твердое тело



жидкость

283.8436 FLOW_TEMP[K]

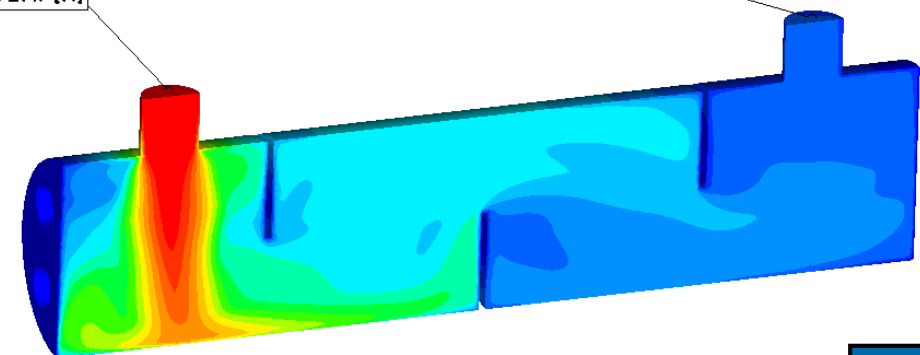
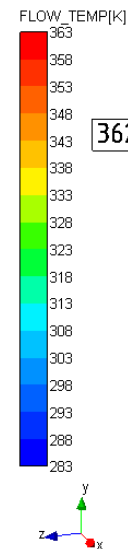
283.0000 FLOW_TEMP[K]



газ

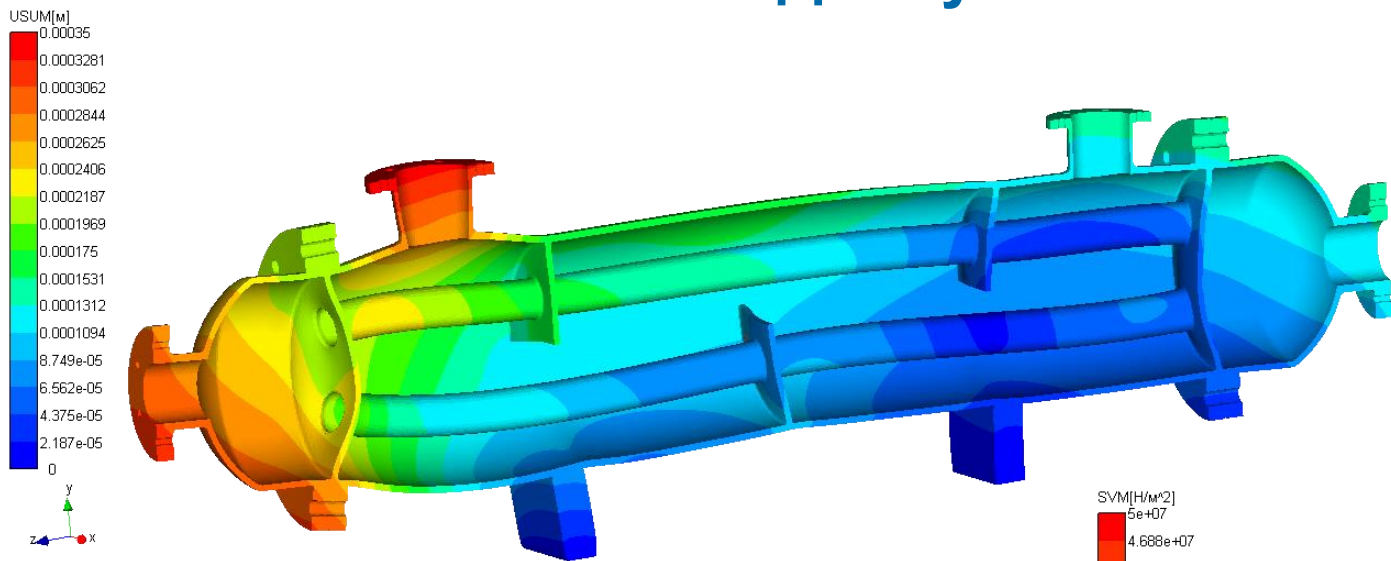
362.9998 FLOW_TEMP[K]

293.3256 FLOW_TEMP[K]

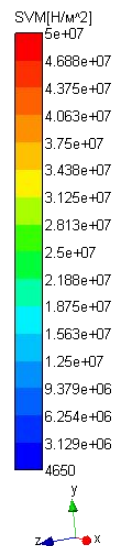




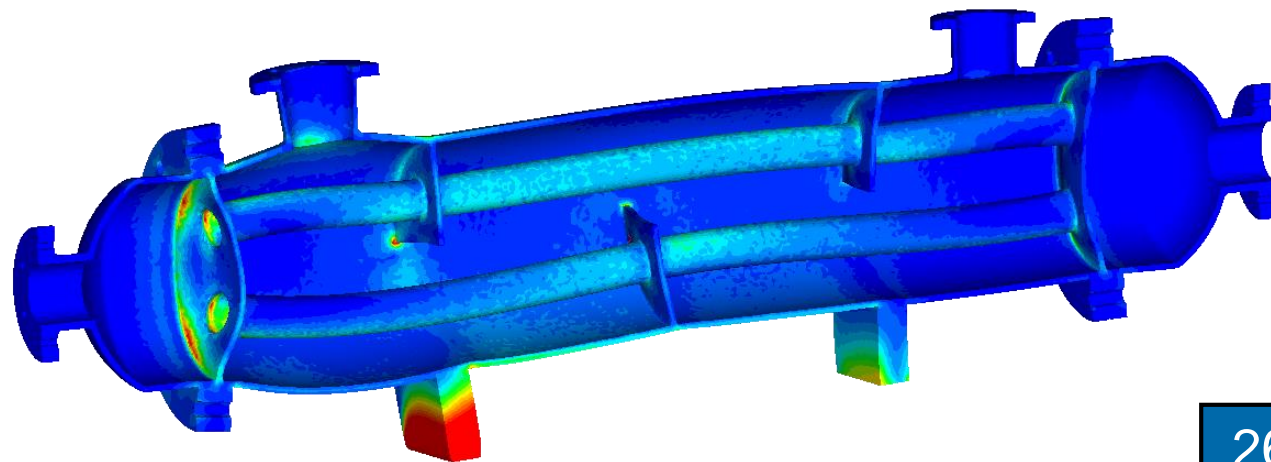
НДС с учетом полей температур



перемещения



эквивалентные напряжения





Спасибо за внимание!

**Компания НТЦ «АПМ»
(научно-технический центр)
Московская область, г. Королев
Октябрьский бульвар, д. 14, офис 6
Тел.: (495) 120-58-10
Internet: www.apm.ru
E-mail: com@apm.ru**