

CFD-моделирование при подборе промышленного оборудования: от качественной картины к экономической эффективности

О. С. Апицына, канд. техн. наук, инженер 1 категории ООО «Терма»

Введение: CFD как инструмент решения неочевидных задач

Методы вычислительной гидродинамики (CFD – Computational Fluid Dynamics) все чаще применяются при проектировании систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Возможность детального анализа структуры воздушных потоков, полей температуры и зон рециркуляции делает CFD-моделирование неотъемлемым инструментом при проектировании сложных объектов. Однако для промышленного оборудования, в частности воздушных теплообменных аппаратов (драйкулеров, воздухоохладителей), его использование пока остается скорее исключением, чем правилом. По опыту компании «Терма», до 80 % случаев подбора решаются стандартными методами с удовлетворительной точностью.

При этом существует класс задач, где традиционные методы расчета не дают однозначного ответа о характере течения воздуха. К таким задачам относятся:

- наличие локальных препятствий вблизи оборудования (перегородки, колонны, сетчатые ограждения);
- размещение аппаратов в стесненных условиях (низкая кровля, приямок, замкнутые объемы);
- взаимное влияние нескольких аппаратов в составе единой системы.

Именно такая задача возникла при подборе теплообменного оборудования «Терма» для одного из объектов: систему драйкулеров требовалось разместить в ограниченном пространстве технологического короба на кровле. Ключевой вопрос заключался в оценке риска рециркуляции нагретого воздуха на вход аппаратов, способной привести к снижению холодопроизводительности и потере мощности в пиковых режимах. Очевидно, что получить достоверный ответ в данном случае можно было только методами численного моделирования.

Постановка задачи: драйкулеры в ограниченном пространстве

На первом этапе были собраны и проанализированы все параметры размещения оборудования (рис. 1), чтобы оценить необходимость применения CFD-моделирования. Анализ показал, что условия монтажа можно охарактеризовать как «стесненные»:

- габариты короба – порядка 10×9 м с высотой ограждающих стенок 2,7 м;
- внутренний объем насыщен строительными конструкциями и локальными сопротивлениями: поперечные и продольные балки, а также решетка с крупной ячейкой (живое сечение более 90 %);
- над решеткой предусмотрен открытый объем высотой 5 м для свободного выброса воздуха.

При такой компоновке возникают два основных риска.

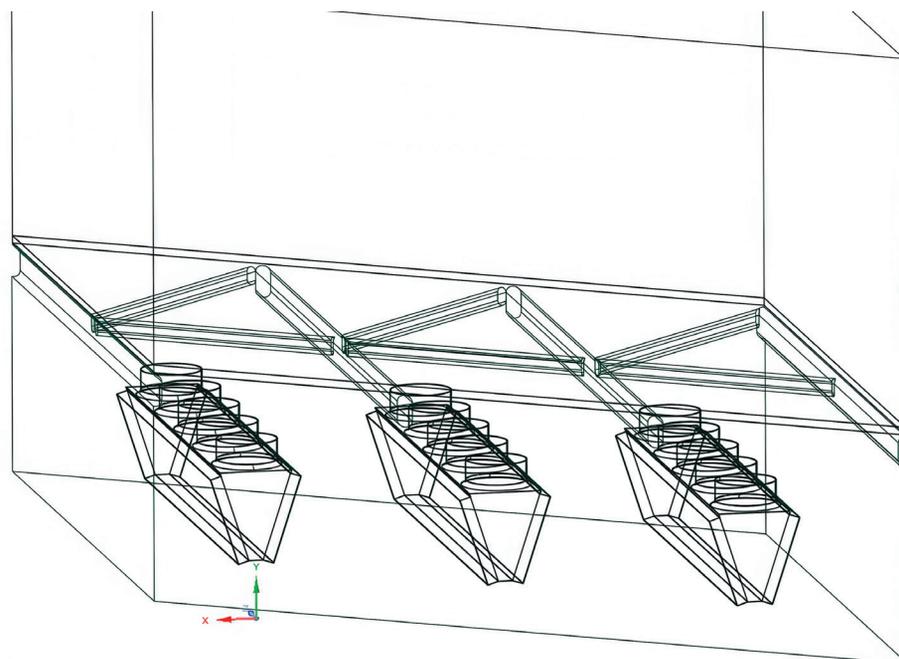
1. Рециркуляция: нагретый выброс от одного аппарата подсасывается на вход соседнего или этого же аппарата.

2. Аэродинамическое сопротивление: близость балок и стен искажает поля скоростей, снижая производительность вентиляторов.

Исходные параметры расчета:

- температура окружающей среды (расчетный летний режим): +33 °С;
- суммарная отводимая мощность от одного драйкулера: 686,8 кВт.

Ключевой искомой величиной являлся процент подмеса нагретого воздуха на вход аппаратов – именно он определяет реальную температуру на входе и, как следствие, эффективность теплообмена. Оценить этот параметр при сложной геометрии и взаимном влиянии аппаратов традиционными методами невозможно – необходим CFD-расчет.



Видео
CFD-моделирования

■ Рис. 1. Схема компоновки оборудования в корпусе

Методология: от простого к сложному

В первом приближении задачи была построена плоская симметричная модель, позволившая за один день получить упрощенную картину течения. Это дало возможность нашим специалистам:

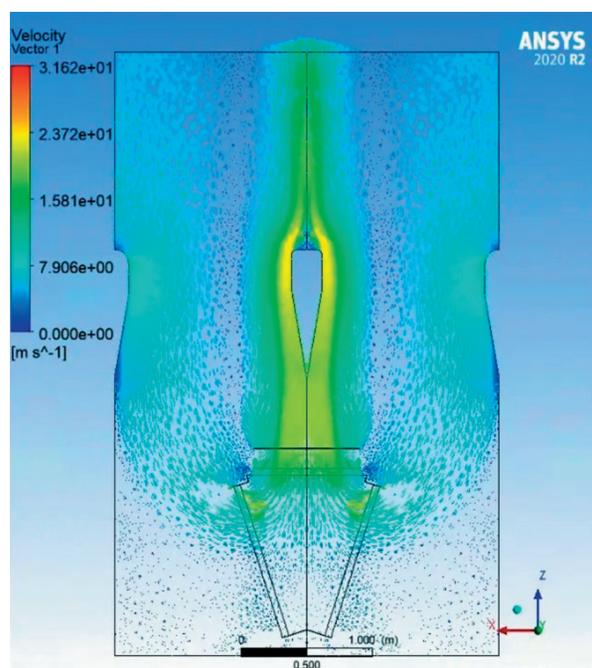
- подтвердить наличие рециркуляции;
- оценить масштаб проблемы;
- наметить первые конструктивные решения, например установку разделительных элементов для снижения подмеса.

Однако для получения количественных оценок, необходимых для итогового подбора оборудования, плоской модели недостаточно – потребовалась полноценная трехмерная постановка (рис. 2).

Во втором приближении инженеры «Терма» построили трехмерную модель, включающую все значимые элементы: балки, решетку, внутренние объемы градирен и теплообменники. Геометрия при этом намеренно упрощалась – телами являлся исследуемый объем воздуха, а все препятствия (балки, стены, корпуса аппаратов) задавались как пустоты. Такой подход позволил сосредоточиться на аэродинамике, не усложняя расчет учетом теплообмена через стенки: при скоростях потока до 15 м/с влияние температуры ограждений на траекторию движения воздуха пренебрежимо мало.

Благодаря повторяемости конструктивных элементов и схемы размещения аппаратов для

анализа была выделена характерная ячейка из трех рядом стоящих драйкулеров «Терма». Такой фрагмент отражает все ключевые особенности течения: взаимное влияние соседних аппаратов, обтекание балок и взаимодействие с решеткой. Моделирование полной системы (более 25 аппаратов) не только потребовало бы неоправданных вычислительных ресурсов, но и не добавило бы



■ Рис. 2. 2D-модель

новой информации – картина течения в каждой тройке повторяется.

Особое внимание уделялось построению расчетной сетки: в зонах, где ожидаются резкие изменения параметров потока (вблизи балок и

вентиляторов), сетка намеренно сгущалась. Это позволяет корректно разрешать поля скоростей и давлений в областях с высокими градиентами. В остальном объеме, где течение более равномерно, использовалась более грубая сетка для экономии

вычислительных ресурсов. Решетка и теплообменники моделировались как пористые тела с соответствующими коэффициентами сопротивления.

Граничные условия задавались следующим образом (рис. 3):

- открытые границы короба моделировались условиями, имитирующими свободное поступление воздуха снаружи (воздух может как входить, так и выходить в зависимости от направления потока);
- на вентиляторах задавался массовый расход воздуха – 50 кг/с на каждый аппарат, с учетом поправок на изменение плотности;
- теплообменникам задавалась отводимая мощность 686,8 кВт, при этом принималось допущение, что вся теплота от жидкости передается проходящему воздуху.

Расчет выполнялся в программном комплексе ANSYS CFX. Уже на этапе построения модели были выявлены первые возможности для улучшения: например, изначально прямоугольные балки, создающие зоны завихрений, были заменены на элементы с полукруглыми очертаниями, что позволило снизить локальные потери.

Результаты: от качественных картин к количественным оценкам

На рис. 4 представлен результат CFD-моделирования, демонстрирующий структуру воздушных потоков. Визуализация позволяет оценить неравномерность поля скоростей, вызванную наличием балок: отчетливо видны зоны завихрений и замедления потока, влияющие на равномерность

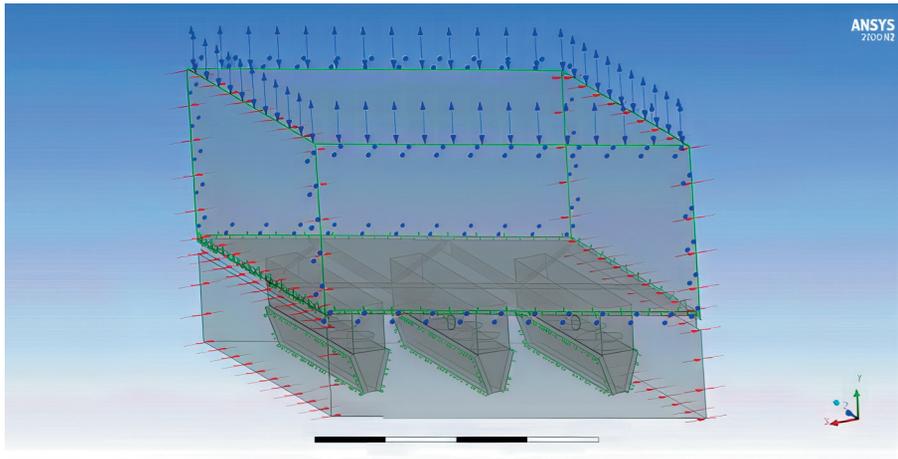


Рис. 3. Постановка граничных условий

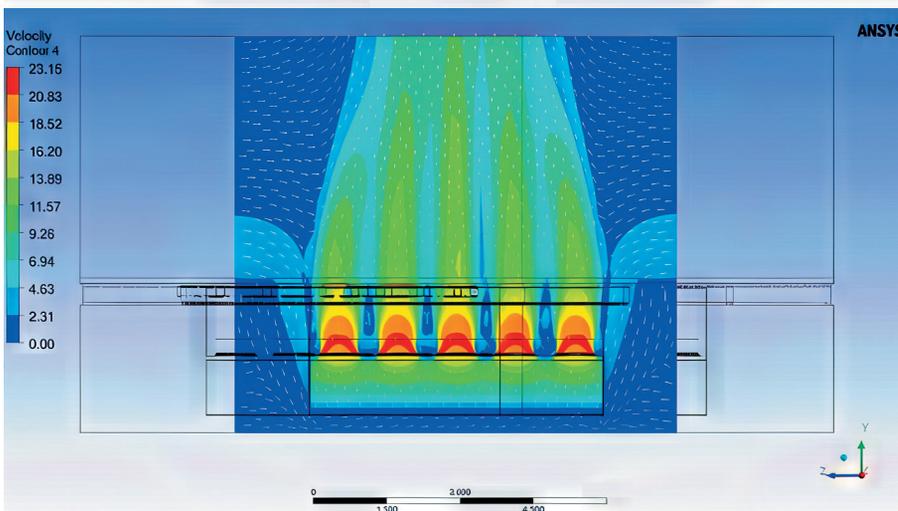
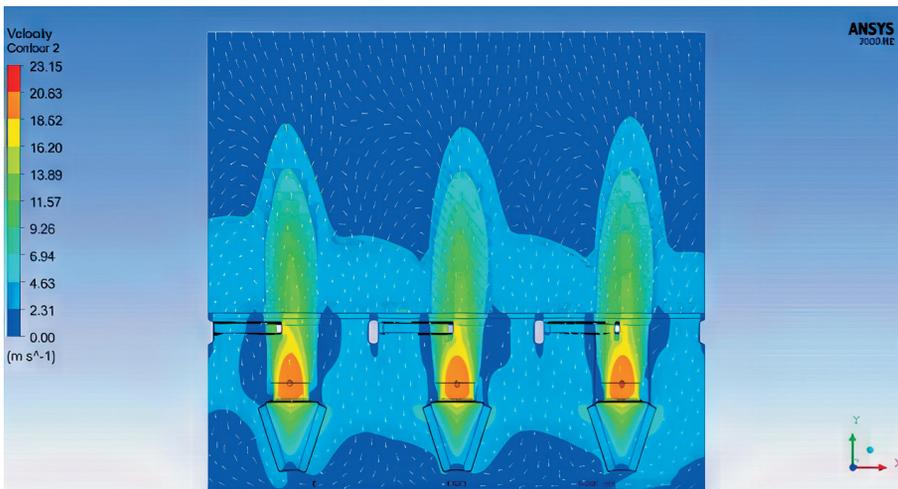


Рис. 4. Распределение скоростей в объеме в двух проекциях

забора воздуха аппаратами. Хорошо заметен также эффект «слипания» струй – из-за разницы давлений создается разрежение и соседние потоки притягиваются друг к другу. Дополнительное представление о динамике процесса дает видео, на котором эти эффекты показаны в развитии.

Оценка рециркуляции

Для расчета процента подмеса анализировались температуры на входе в наиболее критично расположенный (средний) теплообменник. Согласно результатам моделирования, средняя температура воздуха на входе составила 37,1 °С при уличной температуре +33 °С. Таким образом, в данных стесненных условиях 24,3 % воздуха, поступающего на вход драйкулеров, составляет нагретый выброс и только 75,7 % – свежий воздух. Сравнение с вариантом без разделительных элементов показало, что их установка снижает подмес на 5 %, что напрямую влияет на эффективность работы оборудования.

Влияние на подбор оборудования «Терма»

Полученное значение подмеса было использовано для уточнения необходимого количества аппаратов. Расчет показал, что с учетом рециркуляции для обеспечения требуемой холодопроизводительности необходимо 25 драйкулеров. При этом в коробе возможно разместить до 26 единиц, что создает 4 %-ный запас мощности – рекомендуемое решение для гарантии работоспособности в пиковых режимах. Дополнительно были получены значения потерь давления на теплообменниках и решетке, что позволило уточнить подбор вентиляторов.

В ассортименте драйкулеров «Терма» представлено более 30 моделей с количеством вентиляторов от 1 до 22. Для данного проекта, с учетом стесненных условий размещения, были предложены V-образные сухие градирни серии SVDA (рис. 5). Это мощные промышленные модели с высокой единичной производительностью. Оборудование способно обеспечить эффективный отвод тепла даже при высоких нагрузках, оставаясь при этом одним из самых компактных решений за счет специальной V-образной компоновки теплообменного блока.

Высота аппаратов составляет всего 1665 мм, каждый оснащен пятью вентиляторами, расположенными в один ряд. Такая компоновка позволила разместить их в ограниченном пространстве короба и слегка приподнять над уровнем пола для организации дополнительного подсоса воздуха снизу, что также положительно сказалось на снижении влияния рециркуляции.



Рис. 5. Внешний вид V-образного драйкулера серии SVDA

Выводы: практическая и экономическая ценность CFD-моделирования

Рассмотренный кейс демонстрирует практическую ценность CFD-моделирования при подборе промышленного оборудования. Ключевым результатом – количественная оценка рециркуляции (24,313 %), которая напрямую повлияла на итоговую комплектацию: вместо гипотетических 23 аппаратов (в идеальных условиях) потребовалось 25, с рекомендуемым резервом до 26 единиц.

Без моделирования возможны два сценария: занижение количества аппаратов (риск невыхода на мощность в пике) либо избыточный запас «на глаз» (неоправданное удорожание). В данном случае расчет позволил найти оптимальное решение, обеспечив баланс между надежностью и экономической эффективностью.

В практике компании «Терма» CFD применяется для трех типов задач:

- оценка рециркуляции в стесненных условиях;
- расчет аэродинамического сопротивления элементов для подбора вентиляторов;
- оптимизация совместного размещения нескольких аппаратов.

Таким образом, численное моделирование выступает не просто инструментом визуализации, а средством обоснованного принятия инженерных решений «Терма», влияющих на стоимость и работоспособность проекта. ◉

Терма^o

Следите за проектами и новостями на сайте

www.terma.pro

ООО «Терма» 8 800 100 14 30 info@terma.pro