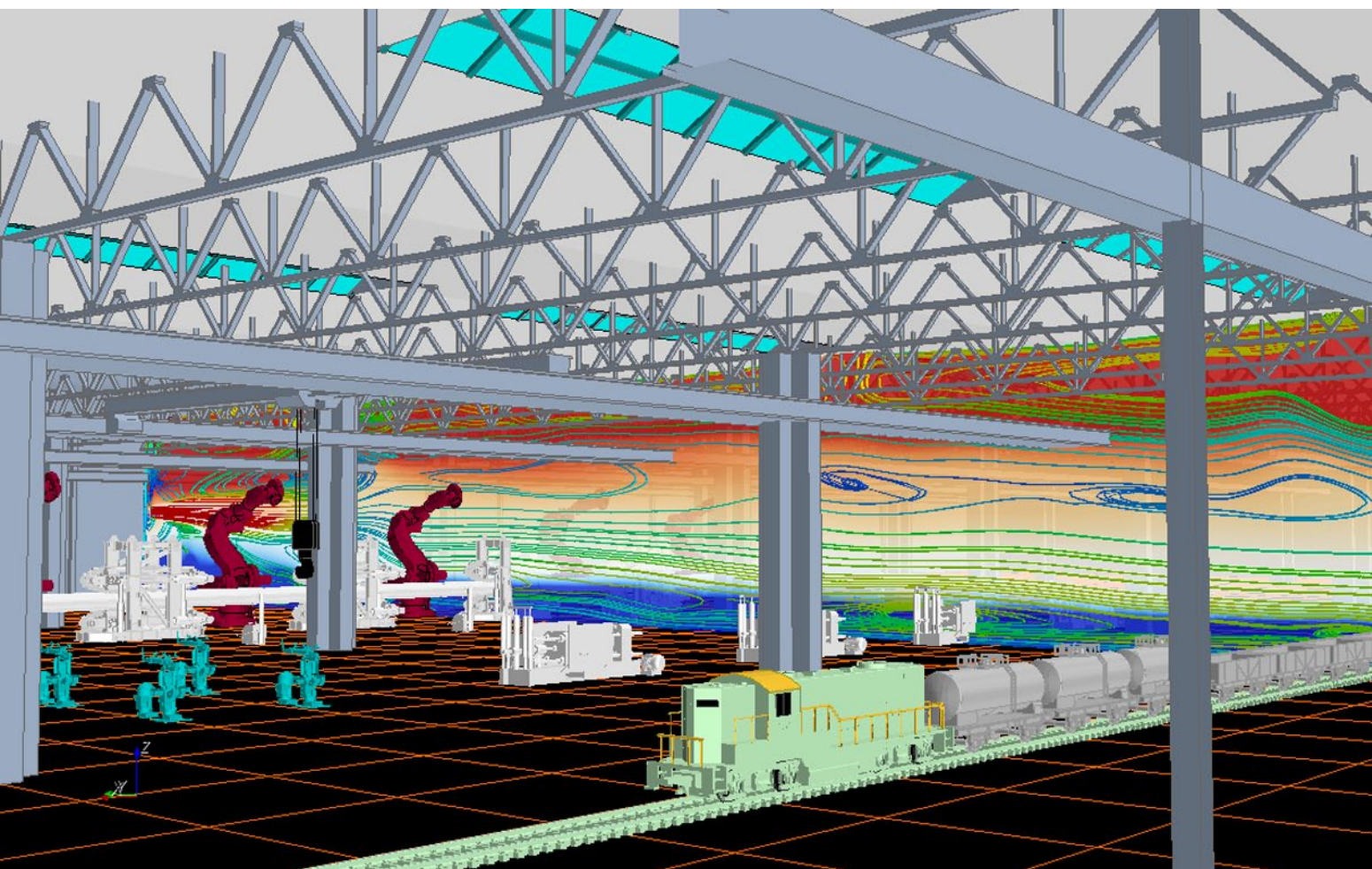


# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЯЦИИ ЗАВОДА

ДАРЬЯ ДЕНИСИХИНА, МАРИЯ ЛУКАНИНА, МИХАИЛ САМОЛЕТОВ

В современном мире уже невозможно обойтись без математического моделирования течения воздуха при проектировании вентиляционных систем. Обычные инженерные методики хорошо подходят для типовых помещений и стандартных решений по воздухораспределению. Когда проектировщик сталкивается с нестандартными объектами, ему на помощь должны приходиться методы математического моделирования. Статья посвящена исследованию воздухораспределения в холодный период года в цеху по производству труб. Данный цех входит в состав заводского комплекса, расположенного в условиях резко континентального климата.



Еще в XIX веке были получены дифференциальные уравнения для описания течения жидкостей и газов. Их сформулировали французский физик Луи Навье и британский математик Джордж Стокс. Уравнения Навье – Стокса являются одними из важнейших в гидродинамике и применяются в математическом моделировании многих природных явлений и технических задач.

За последние годы накопилось большое разнообразие геометрически и термодинамически сложных объектов в строительстве. Использование методов вычислительной гидродинамики значительно повышает возможности проектирования систем

вентиляции, позволяя с высокой степенью точности предсказать распределения скорости, давления, температуры, концентрации компонентов в любой точке здания или любого его помещения.

Интенсивное использование методов вычислительной гидродинамики началось в 2000 году, когда появились универсальные программные оболочки (CFD-пакеты), дающие возможность отыскания численных решений системы уравнений Навье – Стокса в отношении интересующего объекта. Примерно с этого времени «БЮРО ТЕХНИКИ» занимается математическим моделированием применительно к задачам вентиляции и кондиционирования.

## ОБ АВТОРАХ

**Дарья Денисихина** – начальник отдела «Математическое моделирование»;

**Мария Луканина** – ведущий инженер отдела «Математическое моделирование»;

**Михаил Самолетов** – зам. начальника отдела «Математическое моделирование» (ЗАО «БЮРО ТЕХНИКИ – ПРОЕКТ»).

## Описание задачи

В настоящем исследовании численное моделирование проводилось с помощью STAR-CCM+ – CFD-пакета, разработанного компанией CD-Adapco. Работоспособность данного пакета при решении задач вентиляции была

РИС. 1. ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И СКОРОСТИ В СЕЧЕНИИ, ПРОХОДЯЩЕМ ЧЕРЕЗ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УГЛАХ ПОДАЧИ

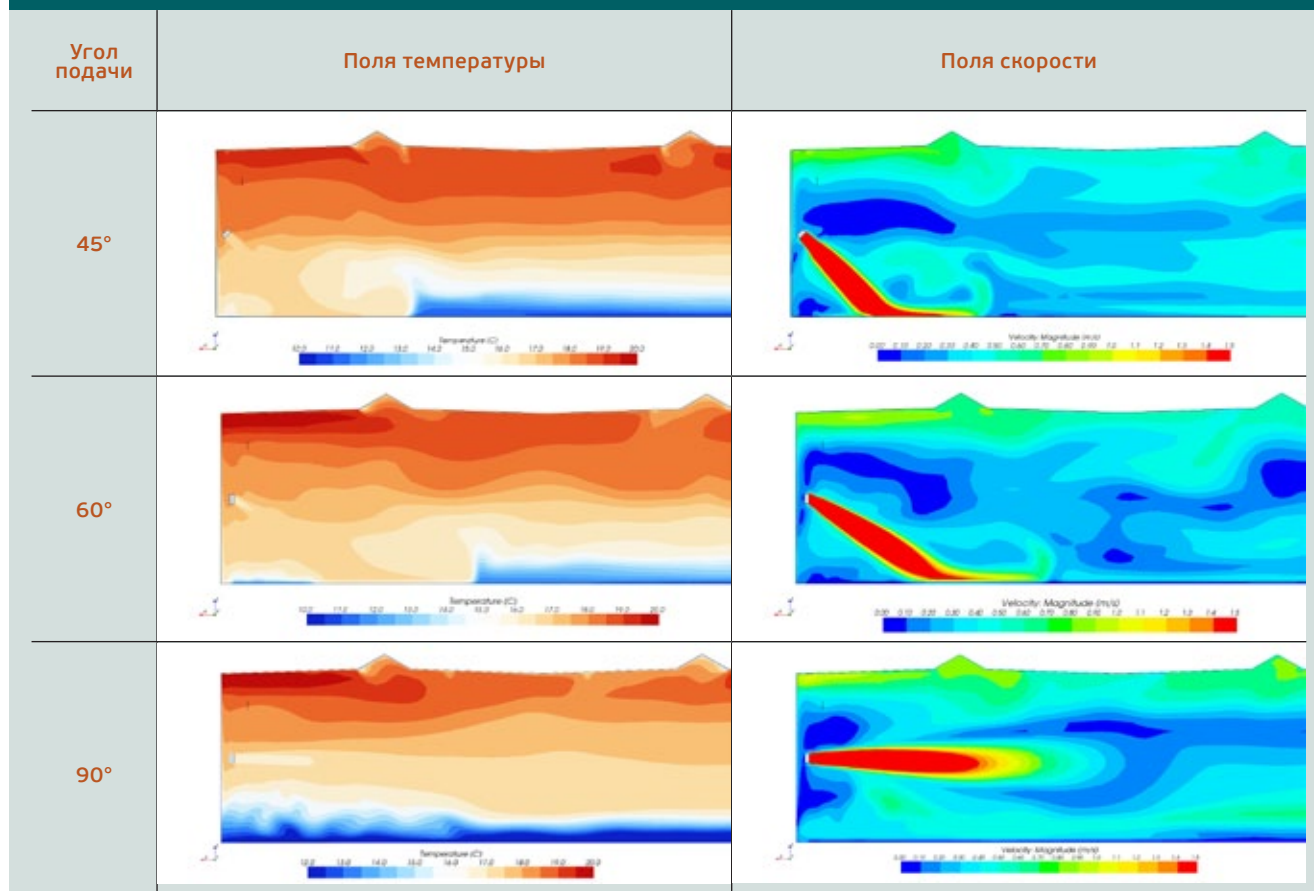


РИС. 2. ПОЛЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТРЕХ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЯХ

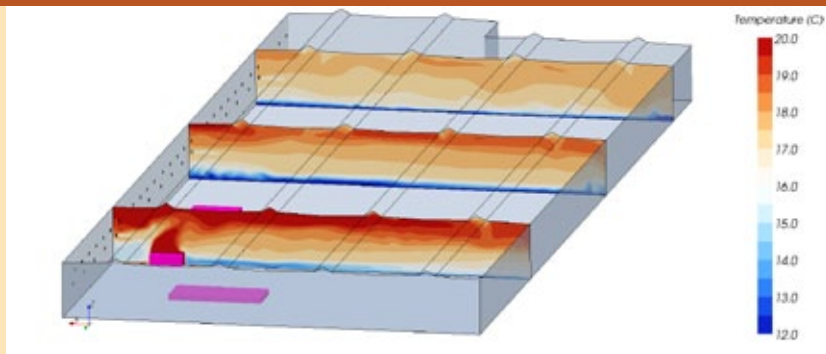


РИС. 3. ПОЛЕ МОДУЛЯ СКОРОСТИ В ТРЕХ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЯХ

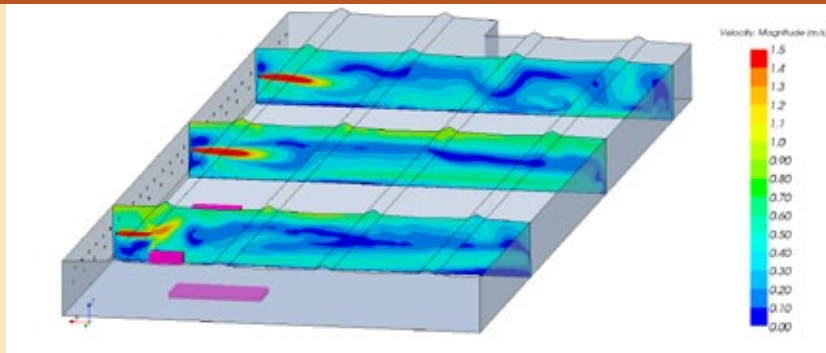


РИС. 4. ПОЛЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В СЕЧЕНИИ, ПРОХОДЯЩЕМ ЧЕРЕЗ ЗАКАЛОЧНУЮ ПЕЧЬ И ПРИТОЧНУЮ РЕШЕТКУ

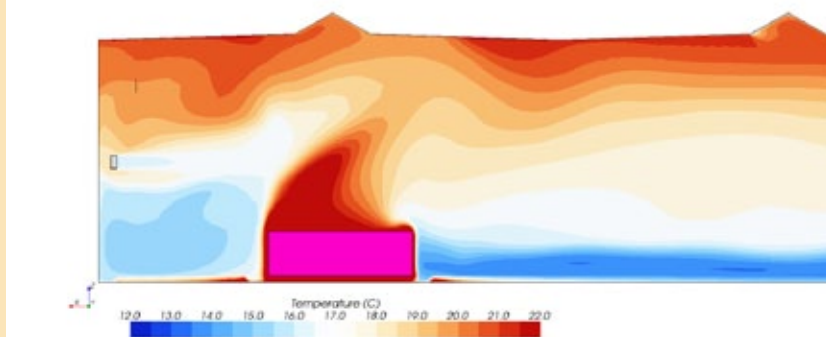
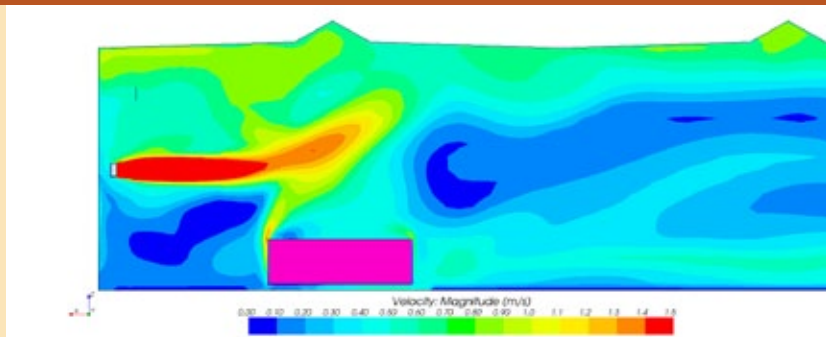


РИС. 5. ПОЛЕ СКОРОСТИ В СЕЧЕНИИ, ПРОХОДЯЩЕМ ЧЕРЕЗ ЗАКАЛОЧНУЮ ПЕЧЬ И ПРИТОЧНУЮ РЕШЕТКУ



многократно проверена на объектах различной сложности, от офисных помещений до залов театров и стадионов.

Задача представляет большой интерес с точки зрения как проектирования, так и математического моделирования.

Температура наружного воздуха  $-31^{\circ}\text{C}$ . В помещении расположены объекты с существенными теплопоступлениями: закалочная печь, отпускная печь и др. Таким образом, присутствуют большие перепады температур между наружными ограждающими конструкциями и внутренними тепловыделяющими объектами. Следовательно, вкладом радиационного теплообмена при моделировании пренебрегать нельзя. Дополнительная сложность в математической постановке задачи заключается в том, что несколько раз за смену в помещение подается тяжелый железнодорожный состав, имеющий температуру  $-31^{\circ}\text{C}$ . Он постепенно нагревается, охлаждая воздух вокруг себя.

Для поддержания требуемой температуры воздуха в объеме цеха (в холодное время года не ниже  $15^{\circ}\text{C}$ ) проектом предусмотрены системы вентиляции и кондиционирования воздуха. На этапе проектирования были рассчитаны расход и температура подаваемого воздуха, необходимого для поддержания требуемых параметров. Остался вопрос – как подать воздух в объем цеха, чтобы обеспечить наиболее равномерное распределение температуры по всему объему. Моделирование позволило за сравнительно небольшие сроки (две-три недели) увидеть картину течения воздуха для нескольких вариантов подачи воздуха, а затем сравнить их.

## ЭТАПЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

- **Построение твердотельной геометрии.**
- **Разбиение рабочего пространства на ячейки расчетной сетки.** Следует заранее предусмотреть области, в которых потребуются дополнительное измельчение ячеек. При построении сетки очень важно найти ту золотую середину, при которой размер ячейки будет достаточно мал для получения правильных результатов, при этом общее количество ячеек не будет столь большим, чтобы затянуть время расчета до неприемлемых сроков. Поэтому построение сетки – это целое искусство, которое приходит с опытом.
- **Задание граничных и начальных условий в соответствии с постановкой задачи.** Требуется понимание специфики вентиляционных задач. Большую роль при подготовке расчета играет правильный выбор модели турбулентности.
- **Выбор подходящих физической модели и модели турбулентности.**

## Результаты моделирования

Для решения рассматриваемой в настоящей статье задачи были пройдены все этапы математического моделирования.

Для сравнения эффективности вентиляции были выбраны три варианта подачи воздуха: под углами к вертикали 45°, 60° и 90°. Подача воздуха осуществлялась из стандартных воздухораспределительных решеток.

Поля температуры и скорости, полученные в результате расчета при различных углах подачи приточного воздуха, представлены на рис. 1.

После анализа результатов угол подачи приточного воздуха, равный 90°, был выбран как самый удачный из рассмотренных вариантов для вентиляции цеха. При таком способе подачи не создается повышенных скоростей в рабочей зоне и удается достичь достаточно равномерной картины температуры и скорости по всему объему цеха.

## Итоговое решение

Далее более подробно приведены поля течения для выбранного варианта (90°).

Поля температуры и скорости в трех поперечных сечениях, проходящих через приточные решетки, показаны на рис. 2 и 3. Распределение температуры по помещению равномерное. Только в районе сосредоточения печей наблюдаются более высокие значения температуры под потолком. В правом дальнем от печей углу помещения присутствует более холодный участок. Это место, где въезжают холодные вагоны с улицы.

Из рис. 3 хорошо видно, как распространяются горизонтальные струи подаваемого воздуха. При таком способе подачи приточная струя имеет достаточно большую дальность. Так, на расстоянии 30 м от решетки скорость течения составляет 0,5 м/с (на выходе из решетки скорость – 5,5 м/с). В остальной части помещения подвижность воздуха невысокая, на уровне 0,3 м/с.

Нагретый воздух от закалочной печи отклоняет струю приточного воздуха вверх (рис. 4 и 5). Печь очень сильно прогревает воздух вокруг себя. Темпера-

тура у пола здесь выше, чем в средней части помещения.

Поле температуры и линии тока в двух сечениях горячего цеха показаны на рис. 6.

## Выводы

Проведенные расчеты позволили проанализировать эффективность различных способов подачи воздуха в цеху по производству труб. Получено, что при подаче горизонтальной струей приточный воздух дальше распространяется в помещении, способствуя более равномерному его обогреву. При этом не возникают области со слишком большой подвижностью воздуха в рабочей зоне, как это происходит при подаче приточного воздуха под углом вниз.

Использование методов математического моделирования в задачах вентиляции и кондиционирования воздуха является очень перспективным направлением, позволяющим на стадии проекта откорректировать решение, предотвратить необходимость исправления неудачных проектных решений после ввода объектов в эксплуатацию. ●

РИС. 6. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И КАРТИНА ТЕЧЕНИЯ ВОЗДУХА ИЗ ПРИТОЧНЫХ РЕШЕТОК

