

## **CFD-моделирование как эффективный способ поиска и обоснования оптимального технического решения на этапе проектирования систем ОВК**

*К. В. Кочарьянц, руководитель научно-исследовательской лаборатории аэродинамики и акустики ООО «Арктос»*

*И. Н. Тисленко, руководитель группы компьютерного моделирования ООО «Арктос»*

В 2017 году приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации введен в действие СП 60.13330.2016 «СНиП 41-01-2003\* Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха». Среди прочих обновлений в данном СП в разделе 5 «*Параметры внутреннего и наружного воздуха*» появился новый пункт следующего содержания:

*«п. 5.17. Обеспечение заданных параметров микроклимата в жилых, общественных, административных и производственных помещениях и зданиях для расчетных режимов холодного и теплого периодов года должно подтверждаться расчетами или методами математического моделирования.*

*Для помещения объемом более 5000 м<sup>3</sup> достижение заданных параметров подтверждается расчетом их распределения по всему объему рабочей зоны данного помещения, выполненным с использованием расчетных методов аэродинамики и теплофизики».*

Таким образом, впервые в нормативном документе, регламентирующем параметры микроклимата, появилось требование проведения расчета воздухораспределения. При этом расчеты описываются тремя различными формулировками: *расчеты, методы математического моделирования* и *расчеты, выполненные с использованием методов аэродинамики и теплофизики*. Однако в данном СП нигде, в том числе в разделе 3 «*Термины и определения*», не расшифровывается, что подразумевали авторы под указанными формулировками, что довольно странно для нормативного документа.

Из вышесказанного следует, что необходимо разобраться, какими расчетами в настоящий момент можно прогнозировать микроклимат в помещении. Такие расчеты, на наш взгляд, можно разделить на две группы — это инженерные методики и методы численного моделирования.

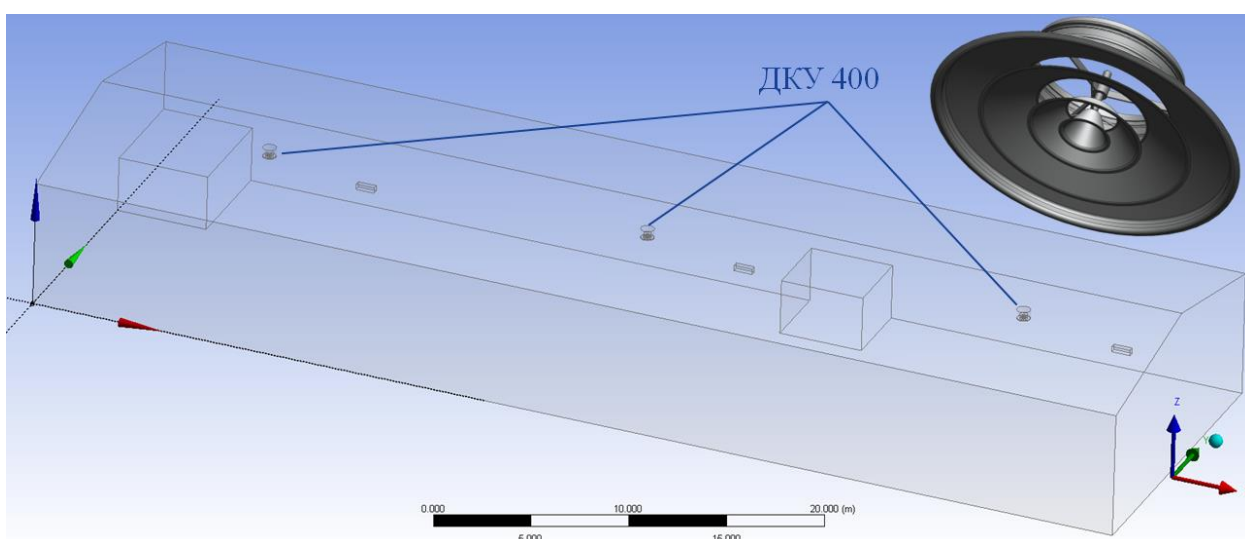
Инженерные методики основаны на полуэмпирических формулах, описывающих струйные течения в идеализированных условиях. Данные методики развивались в середине прошлого века, они позволяют оценивать температуру и скорость воздуха в приточных струях. Инженерные методики лежат в основе всех без исключения программ подбора оборудования различных производителей. К преимуществам инженерных методов следует отнести простоту их применения — оно не требует ни глубоких знаний математики, физики и численных методов, ни вычислительных ресурсов, ни существенных затрат времени. При этом результаты инженерных расчетов, в общем случае, верны только для тех условий, в которых проводились эксперименты для получения полуэмпирических формул. Чем сильнее отличаются условия в конкретном помещении от таких идеализированных условий, тем хуже описывают формулы аэродинамические и тепловые характеристики воздуха в помещении. В реальном помещении на приточные струи влияют конвективные потоки от различных источников тепла, взаимодействие струи с ограждениями и предметами интерьера и т. п., что, как правило, не учитывается в инженерных методиках. Проблему усугубляет противоречивость результатов применения методик различных авторов: получаемые значения могут отличаться не только на десятки процентов, но и в разы. Особенно это касается аэродинамических характеристик неизотермической приточной струи и закономерностей формирования обратного потока [1–7].

Численное моделирование в гидроаэродинамике, или вычислительная гидроаэродинамика (CFD — Computational Fluid Dynamics), основано на решении численными методами дискретизированных уравнений аэродинамики и теплофизики. Вычислительная гидроаэродинамика активно развивается с конца прошлого века, что связано с появлением и широким распространением вычислительной техники, в том числе и персональных компьютеров. Численное моделирование выполняется в коммерческих CFD-программных комплексах: ANSYS CFX, ANSYS Fluent и др.

Численная модель включает в себя трехмерную модель исследуемого помещения с требуемой детализацией; граничные условия, учитывающие теплопроводность ограждений; детализированные модели воздухораспределителей и источников тепла с заданными расходными и тепловыми характеристиками и т. д. В результате численного моделирования в каждой точке помещения определяются значения скорости, температуры и давления воздуха. Кроме того, можно рассчитывать влажность воздуха, концентрацию CO<sub>2</sub> и другие характеристики, влияющие на микроклимат в помещении. Визуализация результатов численного моделирования с помощью градиентных распределений на

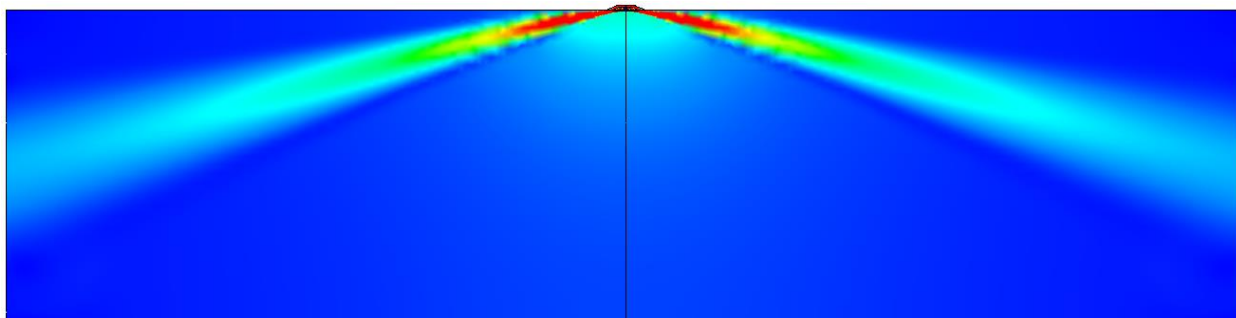
различных плоскостях, линий тока, изоповерхностей дает полную картину формирования микроклимата в помещении и позволяет наглядно продемонстрировать качество выбранной схемы воздухораспределения, а также качественно и количественно сравнить различные варианты проектных решений.

Проиллюстрируем эффективность численного моделирования на примере расчета воздухораспределения в помещении производственного цеха, выполненного специалистами завода «Арктос». Заказчик планировал подавать воздух в цех размерами  $60 \times 17 \times 9$  м из трех диффузоров ДКУ 400 производства завода «Арктос» (рис. 1), расположенных на высоте 6 м. В летний период охлажденный приточный воздух должен обеспечивать компенсацию тепла, выделяемого оборудованием.



*Рис. 1. Расчетная модель цеха*

В свободных изотермических условиях (при монтаже диффузора на некотором расстоянии от потолка) диффузор ДКУ формирует коническую струю (рис. 2). Закладывая в проект диффузор ДКУ, проектировщик предполагал, что приточная струя в данном помещении будет такого же вида, как показано на рис. 2, что обеспечит удовлетворение нормативным требованиям к микроклимату в рабочей зоне.



*Рис. 2. Форма приточной струи ДКУ в свободных изотермических условиях*

Результаты численного моделирования показали, что при заданных условиях в летний период охлажденный приточный воздух на истечении из каждого диффузора ДКУ сначала распространяется конически, а затем отклоняется вниз под воздействием сил Архимеда. Кроме того, под диффузором ДКУ образуется область разрежения, вследствие чего струя еще сильнее отклоняется вниз и затем смыкается, трансформируясь в вертикальную компактную струю. При этом приточная струя достигает рабочей зоны со скоростью 0,9 м/с (рис. 3), что превышает нормативные значения.

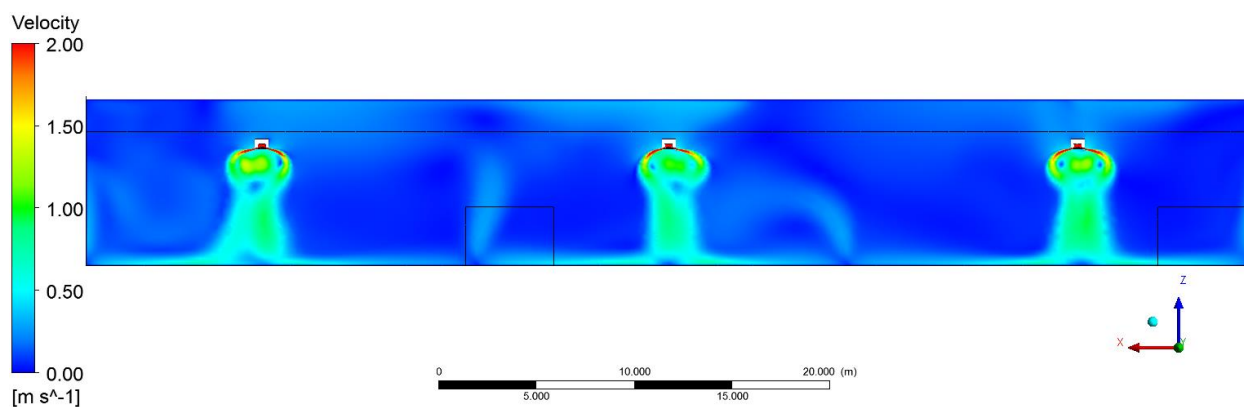


Рис. 3. Распределение скорости на вертикальной плоскости, проходящей через диффузоры ДКУ

Форма приточной неизотермической струи на истечении диффузора зависит от конструкции воздухораспределителя, расхода воздуха и разности температур приточного воздуха и воздуха в помещении. Инженерной методики для расчета такой струи не существует, поэтому ее форму можно рассчитать только при помощи численного моделирования.

Для корректировки системы воздухораспределения с целью удовлетворения нормативам при сохранении схемы воздухораспределения было предложено заменить 3 диффузора ДКУ 400 на 3 диффузора ДИН 400 производства завода «Арктос». При определенном параметре регулирования диффузор ДИН формирует 6 компактных горизонтальных струй.

Из анализа результатов численного моделирования воздухораспределения в помещении цеха следует, что при подаче воздуха диффузорами ДИН скорость воздуха в рабочей зоне не превышает нормативного значения 0,5 м/с (рис. 4–5).

Отличие в характере течения воздуха из ДКУ 400 и ДИН 400 объясняется различными скоростными характеристиками приточных струй. На расстоянии 1 м от

воздухораспределителя в радиальном направлении максимальная скорость воздуха на истечении из ДКУ в 3 раза меньше, чем для ДИН. Поэтому струи на истечении диффузоров ДИН не успевают отклониться вниз под действием гравитации. Кроме того, под диффузорами ДИН отсутствует область разряжения.

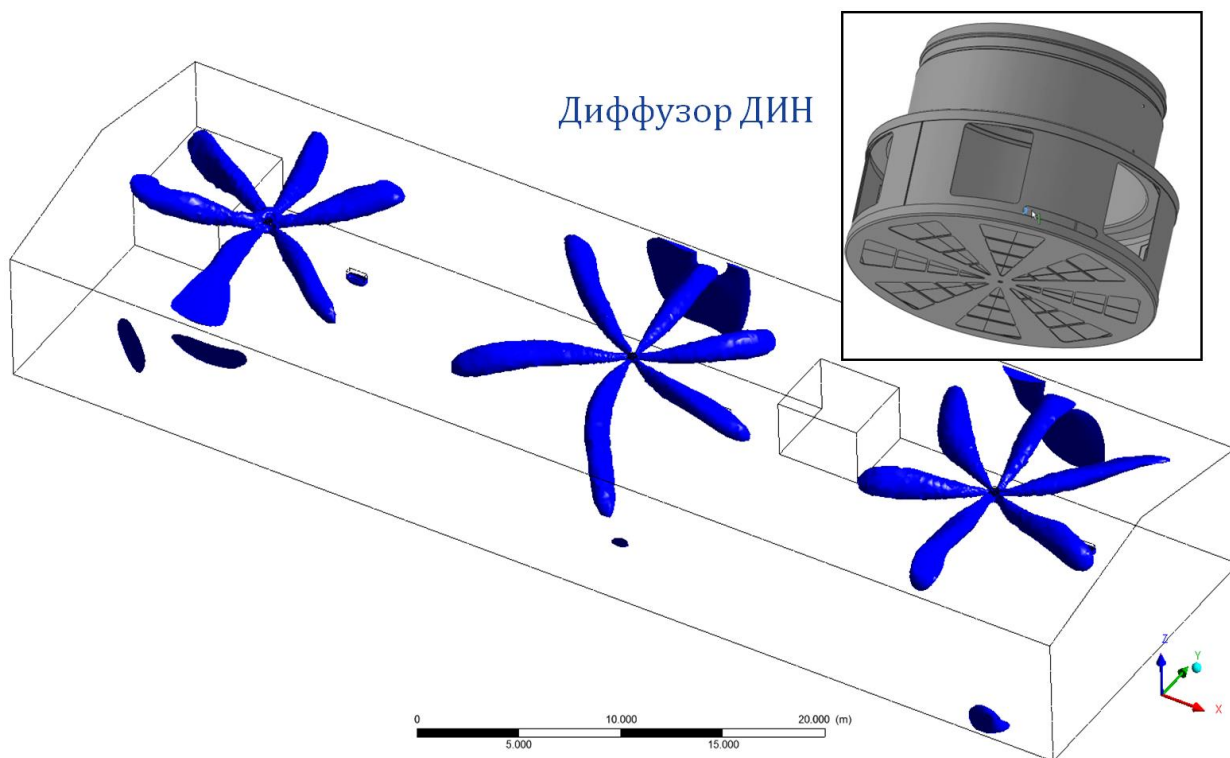


Рис. 4. Изоповерхности по  $V = 0,5 \text{ м/с}$

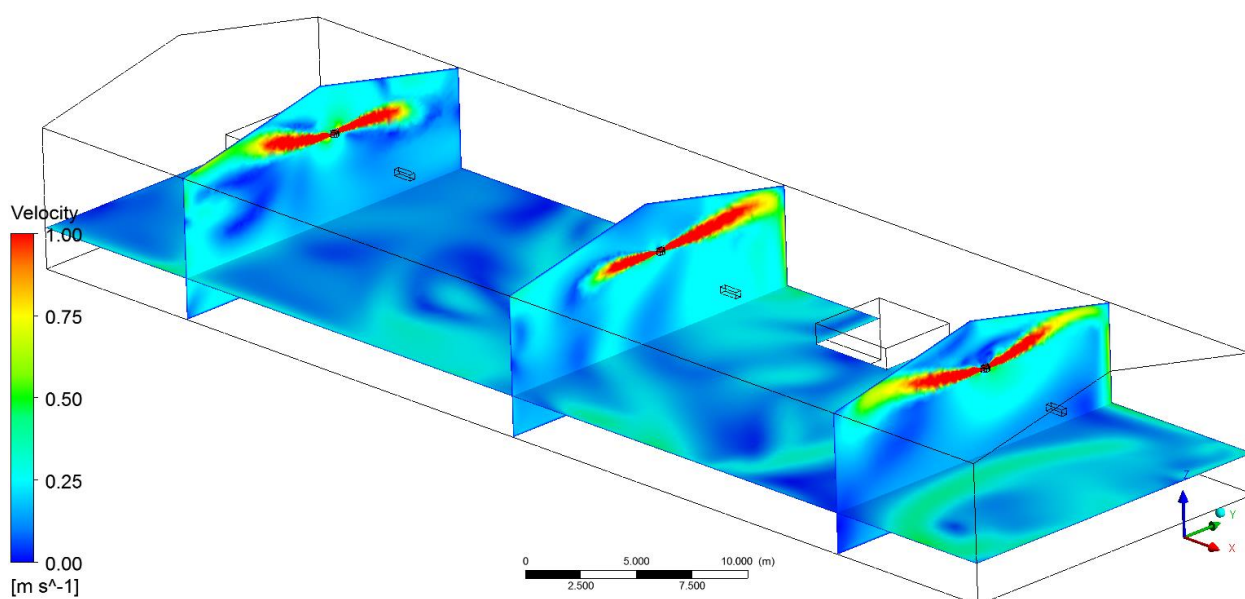


Рис. 5. Поля скоростей в объеме цеха при подаче воздуха через диффузоры ДИН 400

Из результатов численного моделирования (рис. 5) следует, что отдельные струи, формируемые диффузором ДИН, отклоняются вверх и настилаются на потолок, что обуславливается эффектом Коанда. Таким образом, на струю действуют противоположно направленные силы: сила Архимеда, направленная вниз, и сила, определяемая эффектом Коанда, направленная вверх. Соотношение между этими силами зависит от множества факторов, поэтому их невозможно рассчитать инженерными методами.

Из представленного примера следует, что даже для несложных на первый взгляд случаев воздухораспределения прогнозирование микроклимата в помещении при помощи инженерных методик может приводить к принципиально неверному результату.

Вероятность неудовлетворительно работающей системы воздухораспределения, спроектированной по инженерным методикам, возрастает для помещений с большим количеством влияющих на микроклимат факторов (ледовые арены, концертные залы, бассейны, производственные помещения и т. д.). Переделка таких систем потребует существенных финансовых и временных затрат. При этом нет никакой гарантии, что переделанная система воздухораспределения будет работать удовлетворительно. Таким образом, применение численного моделирования позволит сэкономить средства и спроектировать систему воздухораспределения, которая обеспечивает заданные параметры микроклимата.

Подводя итоги, можно рекомендовать использование инженерных методик для предварительных оценок микроклимата и проектирования систем вентиляции только для несложных объектов. Для сложных и ответственных объектов необходимо проводить численное моделирование воздухораспределения с помощью специализированных CFD-программ.

## **Литература**

1. Шепелев И. А. Аэродинамика воздушных потоков в помещении. — Москва: Стройиздат, 1978. — 144 с.
2. Гримитлин М. И., Тимофеева О. Н., Эльтерман Е. М., Эльянов Л. С. Вентиляция и отопление цехов судостроительных заводов. — Ленинград: Судостроение, 1978. — 240 с.
3. Гримитлин М. И. Распределение воздуха в помещениях. — Санкт-Петербург: АВОК Северо-Запад, 2004. — Издание 3-е: 320 с.

4. Внутренние санитарно-технические устройства / Под ред. Павлова Н. Н., Шиллера Ю. И. — Москва: Стройиздат, 1992. — Т. 3.2: 3: 416 с.
5. Шумилов Р. Н., Толстова Ю. И., Бояршинова А. Н. Проектирование систем вентиляции и отопления. — Санкт-Петербург: Лань, 2014. — 332 с.
6. Посохин В. Н. Аэродинамика вентиляции. — Москва: АВОК-ПРЕСС, 2008. — 212 с.
7. Рекомендация по выбору и расчету систем воздухораспределения АЗ-669 / М.: ГПИ Сантехпроект, 1979. — 68 с.