



СООТВЕТСТВУЕТ ГОСТ 7.56-2002

# НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ СЕГОДНЯ

2019  
№ 7(42)



ISSN (print) 2414-5718

ISSN (online) 2541-7789



НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

 РОСКОМНАДЗОР  
СВИДЕТЕЛЬСТВО ПИ № ФС 77-63295

САЙТ ЖУРНАЛА: [HTTPS://PUBLIKACIJA.RU](https://publikacija.ru)

 НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ  
БИБЛИОТЕКА  
**LIBRARY.RU**

 **Google**<sup>TM</sup>  
scholar

# Наука и образование сегодня

№ 7 (42), 2019.

Российский импакт-фактор: 0,17

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Главный редактор: Вальцев С.В.

Заместитель главного редактора: Ефимова А.В.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Подписано в печать:  
03.07.2019  
Дата выхода в свет:  
05.07.2019

Формат 70х100/16.  
Бумага офсетная.  
Гарнитура «Таймс».  
Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 9,75  
Тираж 1 000 экз.  
Заказ № 2000

ИЗДАТЕЛЬСТВО  
«Проблемы науки»

Территория  
распространения:  
зарубежные страны,  
Российская  
Федерация

Журнал  
зарегистрирован  
Федеральной службой  
по надзору в сфере  
связи, информационных  
технологий и массовых  
коммуникаций  
(Роскомнадзор)  
Свидетельство  
ПИ № ФС77 - 63295  
Издается с 2015 года

Свободная цена

Абдуллаев К.Н. (д-р филос. по экон., Азербайджанская Республика), Алиева В.Р. (канд. филос. наук, Узбекистан), Акбулаев Н.Н. (д-р экон. наук, Азербайджанская Республика), Аликулов С.Р. (д-р техн. наук, Узбекистан), Ананьева Е.П. (д-р филос. наук, Украина), Асатулова А.В. (канд. мед. наук, Россия), Аскарходжаев Н.А. (канд. биол. наук, Узбекистан), Байтасов Р.Р. (канд. с.-х. наук, Белоруссия), Бакико И.В. (канд. наук по физ. воспитанию и спорту, Украина), Бахор Т.А. (канд. филол. наук, Россия), Баулина М.В. (канд. пед. наук, Россия), Блейх Н.О. (д-р ист. наук, канд. пед. наук, Россия), Боброва Н.А. (д-р юрид. наук, Россия), Богомолов А.В. (канд. техн. наук, Россия), Бородай В.А. (д-р социол. наук, Россия), Волков А.Ю. (д-р экон. наук, Россия), Гавриленкова И.В. (канд. пед. наук, Россия), Гарагонич В.В. (д-р ист. наук, Украина), Глуценко А.Г. (д-р физ.-мат. наук, Россия), Гринченко В.А. (канд. техн. наук, Россия), Губарева Т.И. (канд. юрид. наук, Россия), Гутникова А.В. (канд. филол. наук, Украина), Датиш А.В. (д-р мед. наук, Россия), Демчук Н.И. (канд. экон. наук, Украина), Дивненко О.В. (канд. пед. наук, Россия), Дмитриева О.А. (д-р филол. наук, Россия), Доленко Г.Н. (д-р хим. наук, Россия), Есенова К.У. (д-р филол. наук, Казахстан), Жамулинов В.Н. (канд. юрид. наук, Казахстан), Жолдошев С.Т. (д-р мед. наук, Кыргызская Республика), Зеленков М.Ю. (д-р полит. наук, канд. воен. наук, Россия), Ибадов Р.М. (д-р физ.-мат. наук, Узбекистан), Ильинских Н.Н. (д-р биол. наук, Россия), Кайракбаев А.К. (канд. физ.-мат. наук, Казахстан), Кафтаева М.В. (д-р техн. наук, Россия), Киквидзе И.Д. (д-р филол. наук, Грузия), Клинов Г.Т. (PhD in Pedagogic Sc., Болгария), Кобланов Ж.Т. (канд. филол. наук, Казахстан), Ковалёв М.Н. (канд. экон. наук, Белоруссия), Кравцова Т.М. (канд. психол. наук, Казахстан), Кузьмин С.Б. (д-р геогр. наук, Россия), Куликова Э.Г. (д-р филол. наук, Россия), Курманбаева М.С. (д-р биол. наук, Казахстан), Курпаяниди К.И. (канд. экон. наук, Узбекистан), Линькова-Даниельс Н.А. (канд. пед. наук, Австралия), Лукиенко Л.В. (д-р техн. наук, Россия), Макаров А.Н. (д-р филол. наук, Россия), Мацаренко Т.Н. (канд. пед. наук, Россия), Мейманов Б.К. (д-р экон. наук, Кыргызская Республика), Мурдадов Ш.О. (д-р техн. наук, Узбекистан), Мусаев Ф.А. (д-р филос. наук, Узбекистан), Набиев А.А. (д-р наук по геонформ., Азербайджанская Республика), Назаров Р.Р. (канд. филос. наук, Узбекистан), Наумов В. А. (д-р техн. наук, Россия), Овчинников Ю.Д. (канд. техн. наук, Россия), Петров В.О. (д-р искусствоведения, Россия), Радкевич М.В. (д-р техн. наук, Узбекистан), Рахимбеков С.М. (д-р техн. наук, Казахстан), Розыходжаева Г.А. (д-р мед. наук, Узбекистан), Романенкова Ю.В. (д-р искусствоведения, Украина), Рубцова М.В. (д-р социол. наук, Россия), Румянцев Д.Е. (д-р биол. наук, Россия), Самков А. В. (д-р техн. наук, Россия), Саньков П.Н. (канд. техн. наук, Украина), Селитренникова Т.А. (д-р пед. наук, Россия), Сибирцев В.А. (д-р экон. наук, Россия), Скрипко Т.А. (д-р экон. наук, канд. техн. наук, Россия), Солов А.В. (д-р ист. наук, Россия), Стрекалов В.Н. (д-р физ.-мат. наук, Россия), Стукаленко Н.М. (д-р пед. наук, Казахстан), Субачев Ю.В. (канд. техн. наук, Россия), Сулейманов С.Ф. (канд. мед. наук, Узбекистан), Трегуб И.В. (д-р экон. наук, канд. техн. наук, Россия), Упоров И.В. (канд. юрид. наук, д-р ист. наук, Россия), Федоськина Л.А. (канд. экон. наук, Россия), Хилтухина Е.Г. (д-р филос. наук, Россия), Цуцунян С.В. (канд. экон. наук, Республика Армения), Чиладзе Г.Б. (д-р юрид. наук, Грузия), Шамилина И.Г. (канд. пед. наук, Россия), Шарипов М.С. (канд. техн. наук, Узбекистан), Ширинкина Е.Г. (канд. техн. наук, Россия).

Заведующая редакцией  
издательства «Проблемы науки»  
Ефимова А.В.



# CFD МОДЕЛИРОВАНИЕ HVAC КАК НЕОТЪЕМЛЕМАЯ ЧАСТЬ СОВРЕМЕННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Иващенко Г.А.

*Иващенко Геннадий Александрович – главный инженер проекта,  
Творческая студия «Мастерская Климата», г. Запорожье, Украина*

**Аннотация:** в данной статье рассматриваются особенности трехмерного численного компьютерного CFD моделирования HVAC и различные примеры применения данной технологии в области проектирования систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, аспирации, пылеудаления, газоочистки и пр.

**Ключевые слова:** CFD моделирование HVAC, микроклимат помещений, вентиляция и кондиционирование воздуха, параметры комфортности.

УДК 628.8

Дорогие друзья, давайте разберемся в этой статье, почему современные методы проектирования климатических систем диктуют новые подходы к созданию климатических технологий на основе обязательного трехмерного компьютерного CFD моделирования проектируемого микроклимата помещений с достоверным прогнозированием температурно-влажностных, скоростных, газовых и воздушных потоков, параметров комфортности человека и ряда многих других параметров, дающих полную картину воздушораспределения уже на начальном этапе проектирования? Почему, до сих пор, многие проектно-архитектурные компании и институты игнорируют данный процесс достоверного компьютерного прогнозирования, хотя, например, стандарты и ГОСТы [1], регламентирующие порядок определения и интерпретации параметров комфортности при CFD моделировании, вступили в силу и действуют уже более десяти лет? В чем преимущества математического трехмерного прогнозирования и анализа микроклимата на начальном этапе проектирования? И что вообще такое CFD моделирование HVAC, возможно ли без него обойтись, ведь раньше о нем даже никто и не слышал? На эти и другие вопросы, насколько возможно объективно, с моей точки зрения, на основе конкретных примеров и попытаюсь ответить в этой статье.

Начнем по порядку, разберемся с терминологией, основами и преимуществами рассматриваемой технологии. CFD моделирование (Computational Fluid Dynamics) — это подраздел вычислительной гидродинамики, включающий совокупность физических, математических и численных методов, предназначенных для вычисления характеристик потоковых процессов, иными словами: исследования в области гидродинамики на основе уравнений гидро- или газодинамики потоков с широчайшими возможностями представления расчётных данных.

Заведующая редакцией  
издательства «Проблемы науки»  
Ефимова А.В.



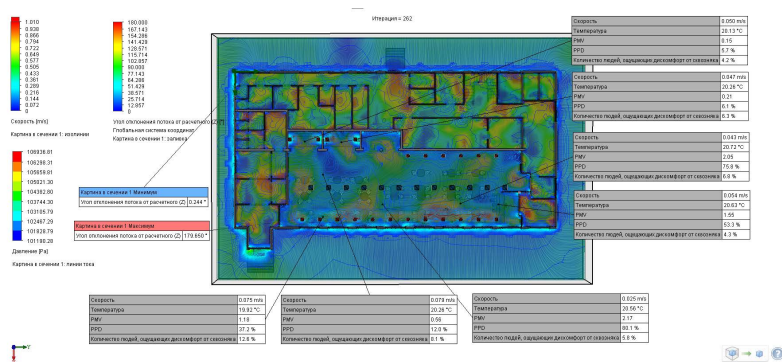


Рис. 1. Пример CFD моделирования HVAC здания ресторана

В результате CFD моделирования мы получаем объект исследования с визуализацией цветовым полем градиента практически любых параметров гидро-газо-динамических потоков, то есть, грубо говоря, мы имеем возможность визуально увидеть не только всю картину распределения гидро-газо-динамических потоков, влияние внешних факторов (солнечной радиации, атмосферного давления, потоков из смежных помещений или проемов, инфильтрации, тепло-влаго-газо-выделений от технологического оборудования, освещения, человека и прочее), но и, грубо говоря, «ткнув» в любую точку в 3-D пространстве исследуемого объекта - увидеть все интересующие нас параметры. Всё это в дальнейшем ложится в основу выполнения определенных задач с последующим включением результатов в разработку проектной документации, например, выработке концепций по размещению и типу воздухораспределительных и воздухозаборных устройств, определению конкретных температурно-влажностных параметров, достоверному прогнозированию удаления вредных газовых веществ до норм ПДК, подтверждению математических расчетов и внесение изменений при конструкторской разработке вентиляционных и аспирационных устройств (бортовых и кольцевых местных отсосов, систем газоочистки, фильтров, скрубберов, циклонов и многого, многого другого), исследованию различных воздушно-температурных течений и влияние их на объекты анализа, определение параметров комфортности в рабочих зонах, создание максимально комфортного микроклимата, экологически чистых и энергоэффективных помещений и так далее и тому подобное... Одним словом, возможности CFD моделирования в исследовании гидро-газо-динамических процессов и применении их при разработке конструкторской и проектной документации просто безграничны. Далее. HVAC (Heating Ventilation Air Conditioning) - в дословном переводе, системы отопления, вентиляции и кондиционирования, а в более широком понимании - технологии поддержания нормируемых, безопасных и комфортных параметров температуры, влажности, скорости воздушного потока, воздухообмена в целом, химического состава воздуха и прочих параметров в помещениях зданий и сооружений различного назначения. То есть, CFD моделировании HVAC - это мощное решение вычисления гидродинамики, позволяющее моделировать эффекты потока жидкостей и газов в условиях прогнозируемой реальности, запускать неограниченное число «сценариев» и эффективно анализировать последствия потоков, теплообмена, гидродинамических и связанных сил, действующих на компоненты и проходящих через них, которые критически важны для успешного проектирования еще на начальном этапе.

Заведующая редакцией  
издательства «Проблемы науки»  
Ефимова А.В.



В чем основные плюсы CFD-моделирования, я думаю, мы разобрались. Почему же тогда до сих пор, при явных преимуществах трехмерного математического моделирования, не имеющего на данном этапе ни каких альтернативных решений, проектно-архитектурные бюро продолжают об этом только говорить, но не спешат внедрять в проектную практику?

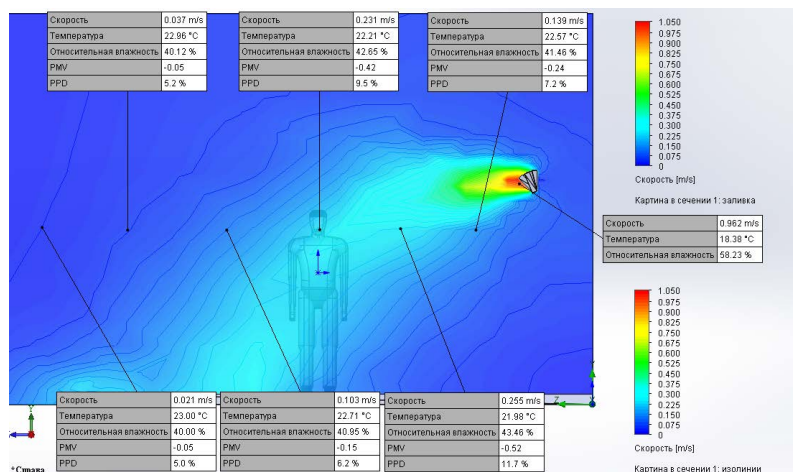


Рис. 2. Пример исследования параметров комфорта человека при нахождении его в зоне действия воздушного потока свободными неизотермическими струями вентиляционной решетки АМР

Давайте разбираться в минусах. Мое твердое убеждение, что, во-первых, это очень сложная, требующая высококвалифицированных специалистов, больших трудозатрат и времени работа. А это означает увеличение сроков проектирования и заметного удорожания стоимости проектных работ. Так же сюда можно отнести эксклюзивность и единичность выполняемых проектов, а также наличие у исполнителя, то есть проектанта, мощных (очень мощных и дорогостоящих) компьютеров для данных расчетов. Во-вторых, анализ CFD моделирования безоговорочно укажет на все недостатки и промахи принятых проектных решений, а следовательно, на профессионализм и качество работ проектанта, и уже не получится сделать проект «как бы» по всем нормам, но на практике не дающего требуемых результатов и качества. Следовательно, обойтись минимальными трудозатратами не выйдет. Проектант, в большинстве случаев, не заинтересован, что бы его расчеты и решения «перепроверялись» и опровергались при анализе CFD-моделирования. Например, он рассчитал нормируемую скорость, температуру, влажность воздуха в рабочей зоне, подобрал климатическое оборудование, проделал огромный объем работ, а достоверное CFD прогнозирование показало совершенно другие результаты... В-третьих, выполнение исследований по CFD моделированию требует более тщательных и максимально полных работ на подготовительном этапе: по сбору исходных данных, инженерному обследованию, предварительным замерам, а следовательно, наличие определенного опыта, привлечение дополнительных ресурсов и специалистов. Ведь процент достоверности прогнозирования CFD моделирования напрямую зависит от качества и объема внесенных исходных данных, исследуемую модель объекта. При полноценных исходных данных достоверность прогнозирования должна быть не менее 90%.

Заведующая редакцией  
издательства «Проблемы науки»  
Ефимова А.В.



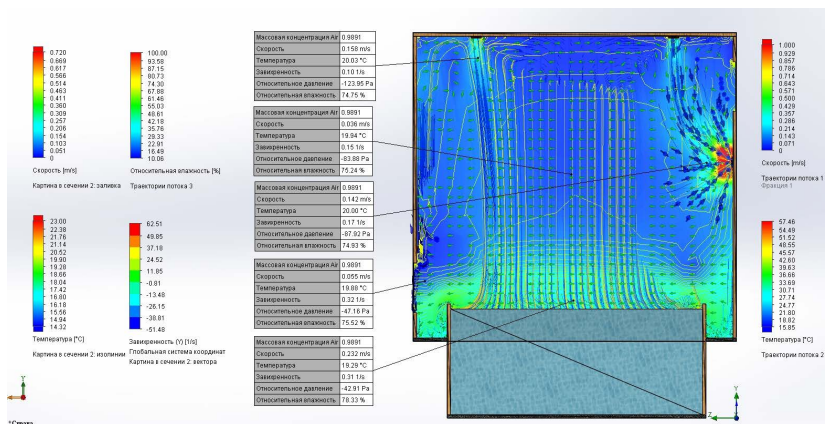


Рис. 3. Результаты CFD-моделирования разреза камеры линии горячего цинкования с ваннами травления, обезжиривания и флюсования

Для исполнителя незаинтересованность понятна. А что же для заказчика, кроме задержки выхода проектных решений и дополнительных затраченных денежных ресурсов, в чем еще недостатки? Я убежден, что для заказчика больше недостатков нет, всё остальное — это вышеперечисленные плюсы! Но. Здесь, как и в остальной нашей жизни, ко всему надо подходить «без фанатизма». На мой взгляд, применение CFD моделирования не всегда обосновано, я имею ввиду небольшие проекты, стандартные и типовые, где всё уже давно проверено опытом и временем. Повторюсь, это моё субъективное мнение, ведь «красивые цветные картинки» CFD моделирования и затраты на них иногда просто не целесообразны и не оправдывают себя. Другое дело - сложные объекты и задачи с определенными параметрами и требованиями, где без CFD моделирования невозможно получить положительный результат. Однозначно, к таким объектам, требующим безоговорочного выполнения CFD моделирования HVAC, я отношу здания и сооружения с большими объемами и количеством людей, со сложной геометрией или, например, с большими теплоизбытками не только от людей, освещения, оборудования, но и от той же солнечной радиации: торговые и зрительные залы, атриумы, бассейны, спортивные сооружения, банки, рестораны и прочее; производственные помещения различных отраслей: металлургия, энергетика, машиностроение, химпром и прочее с большим количеством технологического оборудования, тепло-, влаго- и газовыделениями; помещения с особыми индивидуальными требованиями по микроклимату: музеи, выставочные залы, ЦОД и серверные (с дорогостоящим тепловыделяющим оборудованием), лаборатории, «чистые» помещения операционных и другие. Более того, большие и серьезные объекты требуют больших капиталовложений для устройства инженерных систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (далее ОВиК) и я однозначно считаю, что заказчику, тратя огромные деньги на устройство систем ОВиК, перед началом строительно-монтажных работ (далее СМР) необходимо достоверно убедиться в эффективности принятых проектных решений и целесообразности затрат на их реализацию. Одной из моих специализаций является независимый аудит уже сданных в эксплуатацию проектов, к сожалению, как правило, с последующей их реконструкцией, техническим перевооружением, то есть доведением их до «ума».

Заведующая редакцией  
издательства «Проблемы науки»  
Ефимова А.В.



И поверьте, в моей практике не единичные случаи, когда, например, заказчик потратил огромные деньги, на проект, оборудование, материалы, строительно-монтажные работы, а в результате нет того эффекта, который он ожидал, или этот эффект практически равен нулю. Например, после неудовлетворительных результатов по итогам выполненных работ по устройству систем ОВиК, приглашают независимого эксперта и после проведенного аудита, он выносит заключение (подтвержденное обследованием, замерами, расчетами и прочим), что всё что вы смонтировали можно, грубо говоря, «взять и выбросить» и начинать всё сначала - делать новый грамотный проект с гарантией (которую можно получить только после достоверного прогнозирования CFD моделирования), а уже после этого приступить к закупке нового оборудования и к новым СМР. В результате - потеря денег, судебные тяжбы, экспертизы, потраченные нервы и, самое главное, потерянное время... Конечно можно было бы сказать про заказчика, что «скупой платит дважды», но я бы отнес это к элементарному незнанию заказчиком всех нюансов проектирования, которые он и не должен знать, но которые иногда умышленно замалчивает проектант, и доверием заказчика к исполнителю: они же проектировщики, заканчивали институты, есть опыт и так далее, а по факту я бы их назвал «горе-проектировщиками», из за халатности или низкой квалификации которых (умышленно или не умышленно - это уже другой вопрос) заказчику приходится выкидывать деньги (и время) буквально «на ветер», в прямом и переносном смысле. То есть напрашивается однозначный вывод, что при больших и сложных проектах систем ОВиК, заказчику просто жизненно необходимо «подстраховаться» и потратить энную сумму и время на проведение CFD-моделирования, которое в последствии исключит финансовые и последующие риски, и однозначно многократно окупится в случае, если проект вдруг окажется «мертвым» - не эффективным и не рабочим.

Условно состав работ при CFD моделировании можно разбить на несколько основных этапов:

- подготовительный этап (сбор исходных данных, формирование геометрии исследуемой модели, необходимых физических условий и прочее);
- непосредственно сам расчет (численное решение основных уравнений по базовым физическим параметрам);
- анализ (исследование) с отображением результатов.

Причем для достижения требуемого результата расчет и анализ производится неограниченное количество раз, с построением сеточной модели пространства на большом количестве поперечных и продольных сечений, с верификацией общей геометрии расчетной модели, воспроизводимой со всеми подробностями в масштабе 1 : 1.

Рассмотрим применение CFD моделирования HVAC, решаемые им задачи и различные нюансы проектирования на конкретных примерах ниже.

1. Один из стандартных примеров применения CFD моделирования. Объект: крытый общественный бассейн на 30 человек (плюс 350 зрителей) в ДК НКМЗ г. Краматорск, Украина, проект реализован в январе 2014 г. Особенности проектирования данных систем ОВиК бассейна являлись: новые проектные решения с применением современного климатического оборудования, создание комфортного микроклимата для пловцов и посетителей, эффективное осушение и удаление влаги, соблюдение скорости воздушного потока в рабочей зоне и над зеркалом бассейна, с максимальным использованием существующих коммуникаций, вентиляционных каналов, воздухоприемных и воздухораздающих отверстий под вентиляционные решетки и диффузоры для минимального переустройства существующего уникального внутреннего архитектурного ансамбля.

Заведующая редакцией  
издательства «Проблемы науки»  
*Ефимова А.В.*



На начальной стадии проектирования «П» однозначно было принято решение о проведение CFD-моделирования. Сначала было проведено исследование воздушно-температурных и влажностных потоков с учетом существующих коммуникаций и пожеланий заказчика. В ходе анализа были внесены корректировки, исключены коллизии, было произведено дополнительное моделирование с различным числом исходных данных и определена окончательная концепция с визуализацией газодинамических потоков, в результате чего был получен желаемый результат с минимальными затратами на реконструкцию и переустройство, с созданием требуемого микроклимата помещений, максимальной энерго эффективностью и минимальными затратами на СМР, приобретение климатического оборудования и дальнейшую эксплуатацию.

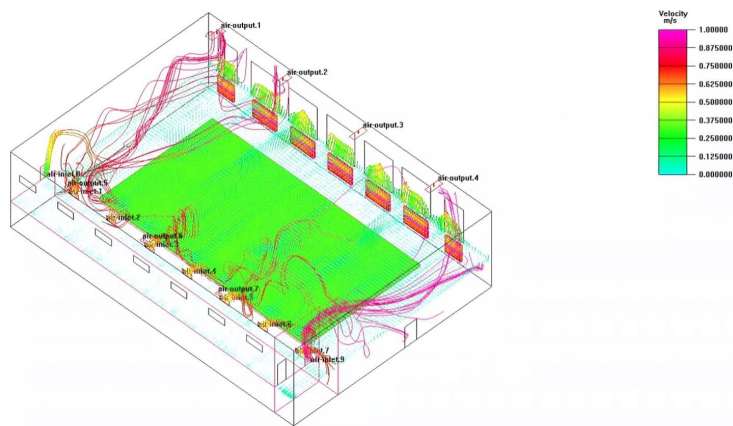


Рис. 4. Результаты CFD-моделирования микроклимата бассейна

2. Примеры применения численного трехмерного моделирования при конструировании воздухозаборных устройств систем вентиляции, а именно бортовых и кольцевых местных отсосов. Очень часто при проектировании промышленных объектов, проектировщик сталкивается с определенной задачей по разработке индивидуальных устройств вытяжной местной вентиляции, аспирации или пылеудаления. Например, в моей практике часто встречается разработка и моделирование бортовых местных отсосов различных типов и конструкций (одно-, двух- бортовых, кольцевых, опрокинутых, активированных притоком и прочие) от технологического оборудования термических цехов, машиностроительных и металлургических предприятий, от ванн травления, горячего цинкования, гальваники и прочее (в частности, разрабатывалась проектная документация на следующих заводах и предприятиях: «Металлинвест» и «Инвестер» г. Черкассы, «Первая Украинская Цинковня» Львовская обл., «Стальканат-Силур» г. Одесса, «Завод алюминиевых профилей АММТ» Киевская обл., «Запорожсталь» г. Запорожье, «Тара» г. Мелитополь, «Юнистил» г. Кривой Рог и другие).

Заведующая редакцией  
издательства «Проблемы науки»  
Ефимова А.В.



Для удовлетворительной работы таких вентиляционных устройств существуют свои индивидуальные требования: определённая расчетная скорость всасывания удаляемых газов и подачи приточного воздуха, равномерность скорости воздушной струи по всей длине щелевого или воздухозаборного отверстия, скорость воздуха и тип воздушных струй над зеркалом ванн с определенным химическим составом, конструкция, обеспечивающая минимальные аэродинамические сопротивления и потери давления, а так же другие индивидуальные требования, исходя из конкретных задач. От соблюдения этих требований напрямую зависит не только эффективность местной системы вентиляции / аспирации / газоочистки, но и возможность осуществления самого технологического процесса.

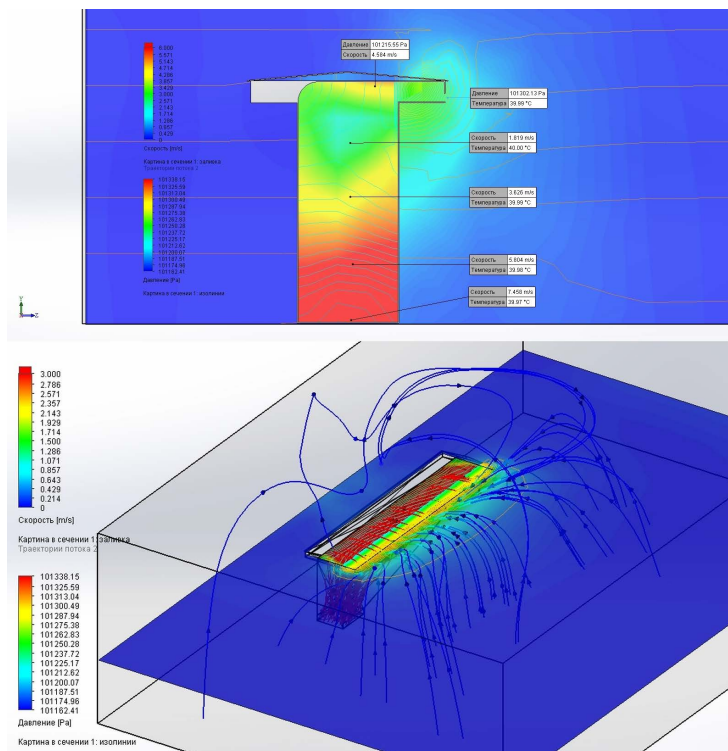


Рис. 5. Компьютерное CFD моделирование бортового отсоса от ванн травления и хромирования

Что, в подавляющем большинстве, в данной ситуации предпримет проектировщик? Воспользуется наработанными методиками расчета, нормативными и рекомендательными документами, типовыми сериями конструкций и прочее. Надо отдать должное нашим ученым, внесшим, по моему мнению, колоссальный вклад не только в отечественную, но и всемирную летопись теоретических основ аэрогидрогазодинамики, воздухораспределения, тепломассообмена и науки в целом.

Заведующая редакцией  
издательства «Проблемы науки»  
Ефимова А.В.



Figure 10 displays the results of the calculation of the aerodynamic characteristics of the aircraft, showing pressure and velocity distributions on the fuselage and wing sections.

**Top Image (2D Cross-section):**

- Pressure (Pa) Scale:** 101329.63, 101328.78, 101327.93, 101327.09, 101326.24, 101325.39, 101324.55, 101323.70, 101322.85, 101322.00, 101321.16, 101320.31, 101319.46, 101318.62, 101317.77.
- Velocity (m/s) Scale:** 1.21, 1.20, 1.20, 1.20, 1.20, 1.20, 1.20, 1.20, 1.20, 1.20, 1.20.
- Velocity Labels:** 7.816 m/s, 6.432 m/s, 7.955 m/s, 8.763 m/s, 8.169 m/s, 6.725 m/s, 8.253 m/s, 7.387 m/s, 8.267 m/s.
- Iteration:** Итерация = 51.
- Right-side Data:**
  - Давление: 101373.67 Pa
  - Плотность (текущая среда): 1.20 kg/m³
  - Скорость: 6.214 m/s
  - Давление: 101374.35 Pa
  - Плотность (текущая среда): 1.20 kg/m³
  - Скорость: 10.592 m/s
  - Давление: 101387.00 Pa
  - Плотность (текущая среда): 1.20 kg/m³
  - Скорость: 11.149 m/s
  - Давление: 101382.59 Pa
  - Плотность (текущая среда): 1.20 kg/m³
  - Скорость: 10.212 m/s
  - Давление: 101421.00 Pa
  - Плотность (текущая среда): 1.20 kg/m³
  - Скорость: 10.663 m/s

**Middle Image (3D Model):**

- Pressure (Pa) Scale:** 15.000, 13.929, 12.857, 11.786, 10.714, 9.643, 8.571, 7.500, 6.429, 5.357, 4.286, 3.214, 2.143, 1.071, 0.
- Velocity (m/s) Scale:** 15.000, 13.333, 11.667, 10.000, 8.333, 6.667, 5.000, 3.333, 1.667, 0.
- Section Labels:** Картина в сечении 1: изолиния, Картина в сечении 1: линия тока.

**Bottom Image (3D Model):**

- Pressure (Pa) Scale:** 101329.63, 101328.78, 101327.93, 101327.09, 101326.24, 101325.39, 101324.55, 101323.70, 101322.85, 101322.00, 101321.16, 101320.31, 101319.46, 101318.62, 101317.77.
- Velocity (m/s) Scale:** 15.000, 13.333, 11.667, 10.000, 8.333, 6.667, 5.000, 3.333, 1.667, 0.
- Section Labels:** Картина в сечении 1: изолиния, Картина в сечении 1: линия тока.

То есть, все нюансы по геометрической форме оборудования и ванн, химическому составу и концентрации газов/пыли и прочих вредных выделений, влияние на воздухообмен сторонних факторов и индивидуальные особенности каждой единицы источника выделений предусмотреть во всех методичках просто невозможно. Верней, рассчитать аэродинамику и воздухообмен можно, но смоделировать саму конструкцию индивидуального отсоса, без его предварительной проверки – нет.

дичка просто невозможно. Возможно, но сомнительно, что двоякой проверке нет.

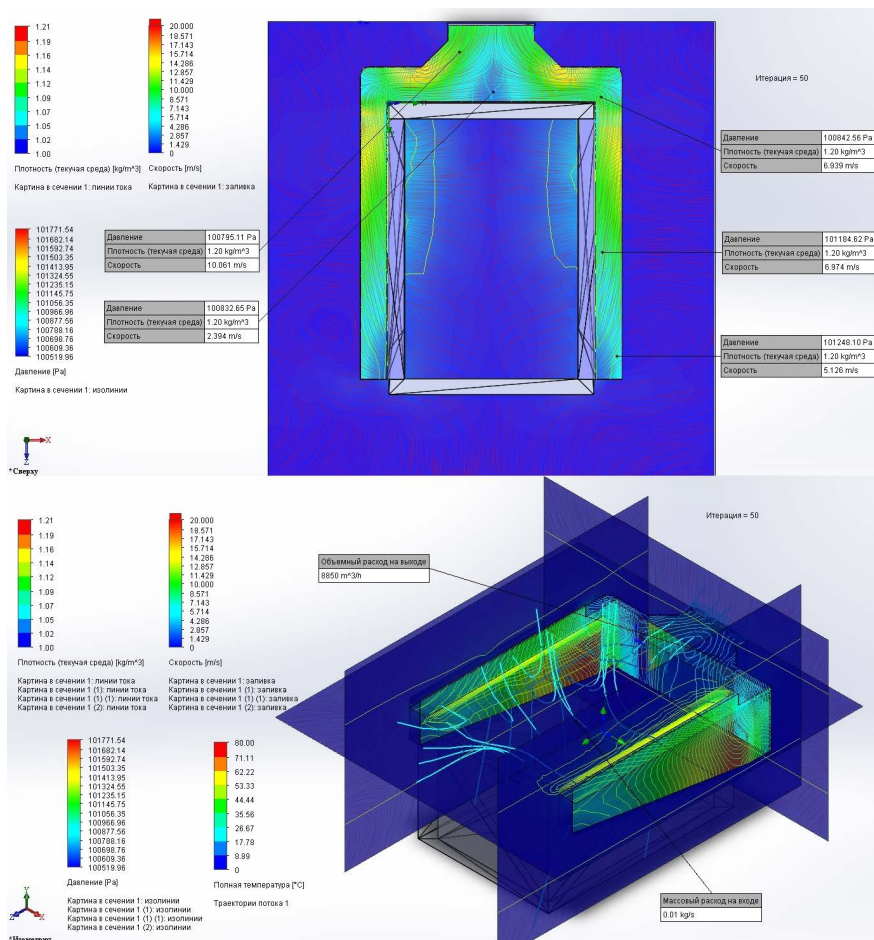


Рис. 7. Компьютерное CFD моделирование двухтортового отсоса от ванны термической закалки

На практике проектировщики применяют уже готовые решения и в лучшем случае делают перерасчет геометрических форм и размеров щелевых отверстий. Что, по большому счету в целом, является недостаточным, влияет на производительность и эффективность местного отсоса, скорость всасывания, образующихся завихрений воздуха над зеркалом раствора ванны и так далее, а в итоге – приводит к нарушению технологического процесса и низкой эффективности, казалось бы, «правильно» подобранного местного отсоса. Поэтому применение CFD моделирования при разработке индивидуальных местных отсосов особо важно и других методов определения предварительных результатов (кроме как на практике или в специализированных лабораторных условиях), по моему мнению, на сегодняшний момент не существует.

Заведующая редакцией  
издательства «Проблемы науки»  
Ефимова А.В.



3. Пример численного трехмерного моделирования здания с большими объемами, сложной геометрической формы, с атриумом и большими светопрозрачными арочными конструкциями: крытый рынок в г. Петропавловск-Камчатский, Россия, проект выполнен в сентябре 2017 г. Основными задачами при проектировании систем вентиляции и кондиционирования воздуха (далее СВК) в данном здании были: принятие новых проектных решений для создания комфортного микроклимата в торговых залах, бутиках и атриуме по аэродинамическим и температурно-влажностным характеристикам с соблюдением параметров комфортности для посетителей и персонала, обеспечения максимальной энергоэффективности и минимизации затрат на приобретение климатическое оборудования, СМР и дальнейшую эксплуатацию.

Дело в том, что на момент разработки нами проектной документации, в здании была существующая система вентиляции, смонтированная по проекту местного проектного института, но она фактически полностью не удовлетворяла элементарным требованиям и нормам. Например, в торговых залах помещения атриума были даже единичные случаи, когда в летний период года, при большом скоплении посетителей, люди падали в обморок из за нехватки свежего приточного воздуха (параметры комфортности PPD и PMV занижены в десятки раз), низкой влажности (менее 30%) и высокой температуры воздуха (более +30 градусов), то есть из за полного отсутствия не то что комфортного, а просто нормируемого микроклимата в рабочих зонах.

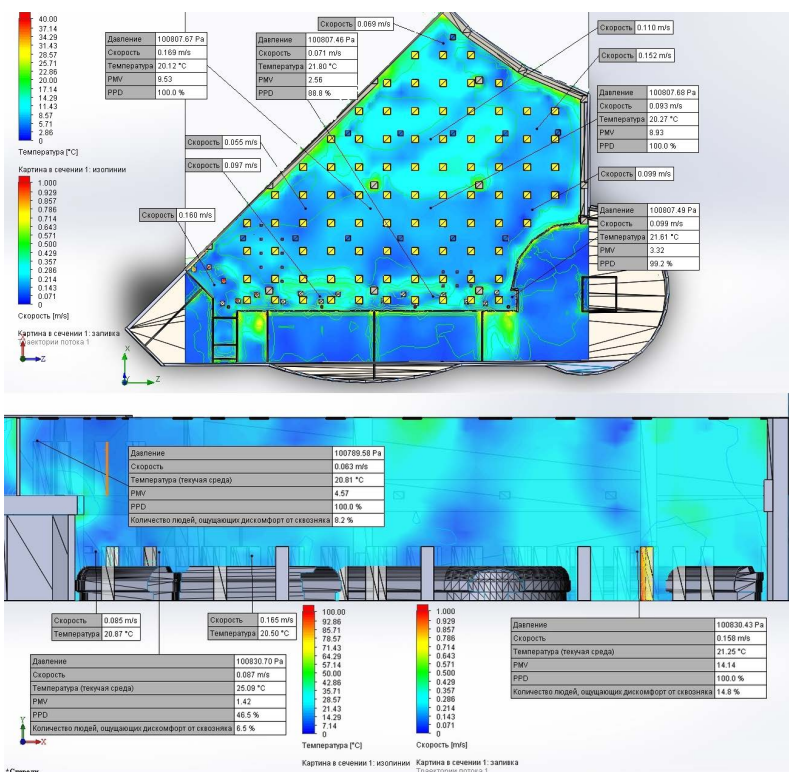


Рис. 8. Этапы CFD моделирования HVAC одного из торговых помещений крытого рынка

Заведующая редакцией  
издательства «Проблемы науки»  
Ефимова А.В.



**Температура [°C]**

30.00  
29.86  
29.71  
29.57  
29.43  
29.29  
29.14  
29.00  
28.86  
28.71  
28.57  
28.43  
28.29  
28.14  
28.00

Картина в сечении 1: заливка  
Траектории потока 1

**Температура [°C]**

0.955  
0.897  
0.819  
0.751  
0.682  
0.614  
0.546  
0.478  
0.409  
0.341  
0.273  
0.205  
0.136  
0.068  
0

Скорость [m/s]

Картина в сечении 1: изолинии

**Температура [°C]**

28.00  
28.86  
28.71  
28.57  
28.43  
28.29  
28.14  
28.00

Картина в сечении 1: заливка  
Картина в сечении 1 (1): заливка  
Картина в сечении 1 (1): заливка  
Траектории потока 1  
Траектории потока 2

**Скорость [m/s]**

0.602  
0.566  
0.527  
0.489  
0.451  
0.413  
0.375  
0.336  
0.300  
0.262  
0.224  
0.186  
0.149  
0.111  
0.073

Скорость [m/s]

Картина в сечении 1: изолинии  
Картина в сечении 1 (1): заливка  
Картина в сечении 1 (1): заливка

**Скорость [m/s]**

0.020  
0.017  
0.014  
0.011  
0.008  
0.005  
0.002

Скорость  
Температура  
Заверенность  
Относительное давление  
PMV  
PPD  
Количество людей, ощущающих дискомфорт от сквозняка

0.234 m/s  
24.86 °C  
0.07 1/s  
-570.62 Pa  
0.07  
51 %  
13.2 %

Скорость  
Температура  
Заверенность  
Относительное давление  
PMV  
PPD  
Количество людей, ощущающих дискомфорт от сквозняка

0.020 m/s  
24.74 °C  
0.07 1/s  
-573.31 Pa  
-0.03  
51 %  
2.7e-02 %

Скорость  
Температура  
Заверенность  
Относительное давление  
PMV  
PPD  
Количество людей, ощущающих дискомфорт от сквозняка

0.017 m/s  
24.59 °C  
0.06 1/s  
-572.08 Pa  
0.05  
51 %  
0.3 %

Решение задач по реализации поставленных задач осложнялось конструктивом здания: сложная геометрическая форма в плане в виде формы полуокружности, состоящее из двух основных блоков, разбитых, в свою очередь на торговые залы большого объема (высота потолков 6,8 метров) с балконами и антресолями, между собой основные блоки соединены светопрозрачной арочной конструкции в виде атриума (высота потолков 12,5 метров). Всё это усугублялось большими теплоизбытками, в основном от солнечной радиации через витринные окна и светопрозрачные купола, большими открытыми проемами через смежные помещения, вызывающими неорганизованный естественный воздухообмен, потоки воздушных потоков и прочими усложняющими факторами.

Поэтому, по согласованию с заказчиком, было принято решение об однозначном применении, при разработке проектных решений, CFD моделирования HVAC с достоверным прогнозированием микроклимата помещений. В результате многократно проведенного трехмерного CFD моделирования, с большим числом исходных данных и многочисленных «сценариев» воздухораспределения, была определена окончательная концепция систем СВК (на основе метода вытесняющей вентиляции с применением центральных кондиционеров и низкоскоростных воздухораспределителей), подтверждены и скорректированы математические расчеты, приняты технические решения по реализации и разработке проектной документации.

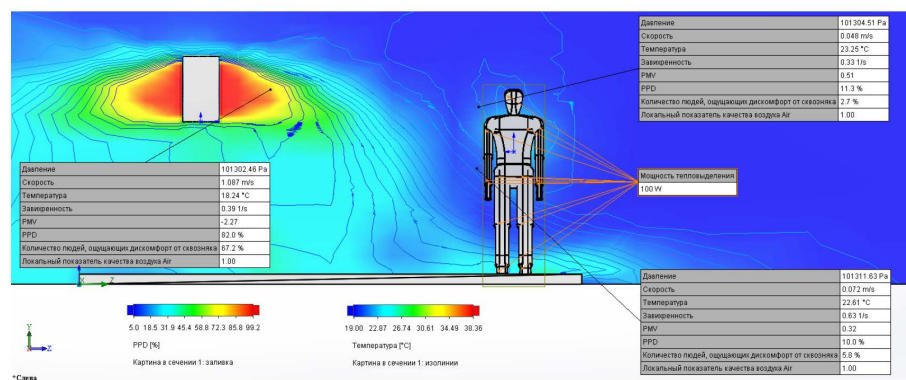


Рис. 10. Исследование воздействия газодинамических потоков воздушной среды на человека с точечными замерами параметров скорости, температуры, индексов комфортности PMV, PPD и других параметров при CFD моделировании здания крытого рынка

Заведующая редакцией  
издательства «Проблемы науки»  
Ефимова А.В.



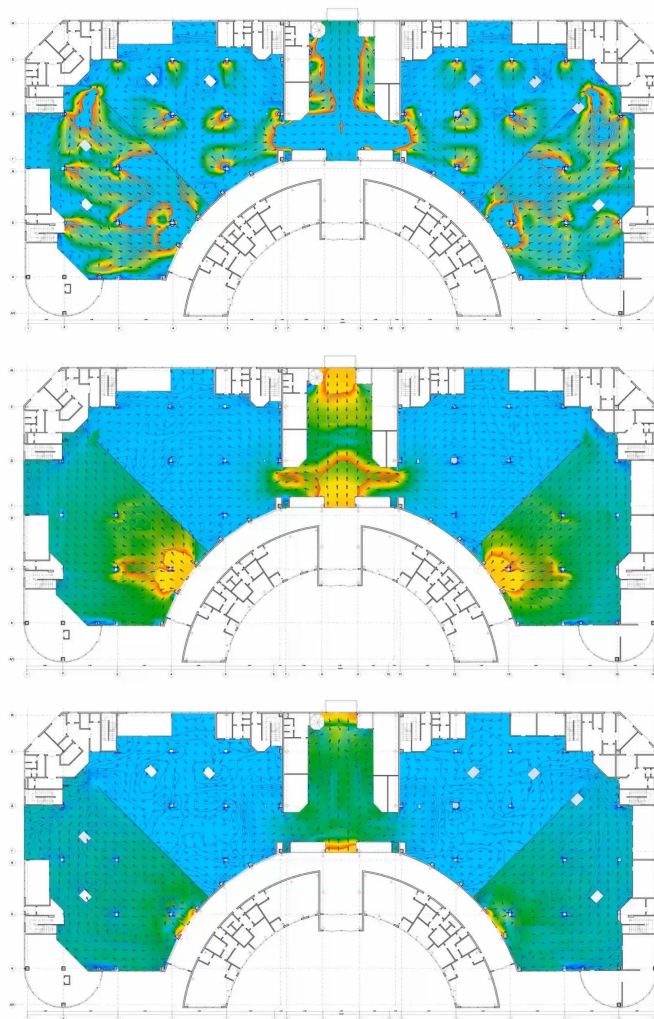


Рис. 11. Этапы CFD моделирования HVAC здания крытого рынка в целом, с учетом открытых проемов между смежными помещениями

Отдельно был произведен расчет оценки качества прогнозируемых параметров комфорта: PMV (ожидаемая средняя оценка степени комфорта или индекс комфортности по Фангеру, основанный на тепловом балансе человека), PPD (ожидаемый процент неудовлетворенных воздушной средой), уровень сквозняковых явлений DR, ожидаемый процент людей ощущающих дискомфорт от сквозняка, степень турбулентности TU. Для рабочих зон были определены такие параметры как средняя скорость воздуха, градиент температуры воздуха, температура в зоне пола, относительная влажность, асимметричность излучений. Всё это вместе привело к положительному результату по решению поставленных задач с последующей реализацией в проектных решениях. Послесловие. На момент написания этой статьи, к сожалению, «воз и ныне там»: из-за отсутствия финансирования работы по реконструкции систем СВК, согласно новому проекту, так и не реализованы...

Заведующая редакцией  
издательства «Проблемы науки»  
Ефимова А.В.



4. Далее рассмотрим пример трехмерного компьютерного моделирования в промышленности. Объект: термический цех в здании сталепрокатного завода «Стальканат-Силур», г. Одесса, Украина, проект реализован в марте 2018 г. В связи со сложностью поставленных заказчиком задач, проектные работы были разбиты на три этапа: предпроектные инженерные изыскания (для выработки нескольких вариантов концепций с видеопрезентациями для заказчика и инвесторов), стадии проектирования «Проект» и «Рабочая документация». На момент начала работ, в помещении термического цеха находилось оборудование двух устаревших линий термической обработки и одной линии подготовки (травления и цинкования). Из-за отсутствия системы СВК и местной вытяжной вентиляции (далее ВМ), из-за больших тепловыделений от термического оборудования линий термообработки, влажностных и вредных выделений от ванн линии подготовки, воздухообмен и микроклимат в помещении цеха был полностью неудовлетворительным. В рабочих зонах постоянного пребывания персонала, кроме значительного превышения ПДК вредных выделений, температура воздуха в теплый период года достигала +40 градусов. Так же, из-за полного дисбаланса между притоком и вытяжкой, большого перепада температур и постоянно открытых дверных проемов в смежные цеха, существовал неорганизованный естественный воздухообмен с перетоками воздушных масс из грязных зон в чистые и смежные цеха, в рабочих зонах преобладали сквозняковые эффекты и прочее.

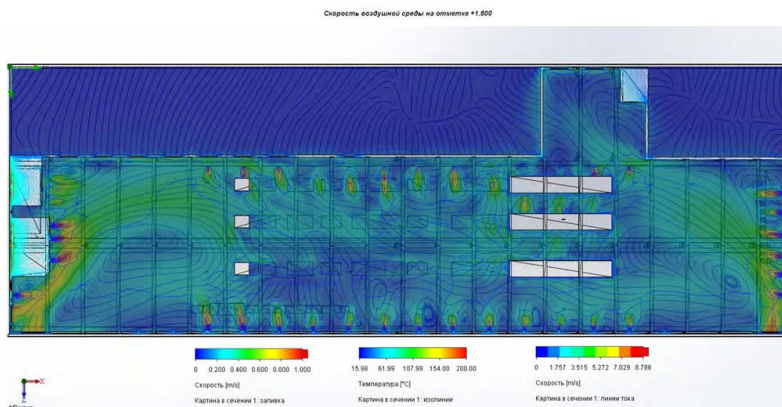


Рис. 12. CFD моделирования HVAC термического цеха

По заданию заказчика, разработка проектной документации, с последующей реализацией устройства систем СВК и ВМ, должна была полностью устранить все недостатки и обеспечить нормируемый микроклимат в рабочих зонах производственного цеха. Но главной особенностью данного проекта являлась разработка систем СВК и ВМ не только для конкретной климатической ситуации, а и разработка проекта с несколькими переходными вариантами, с условием замены старых линий термообработки на новые, с увеличением их количества и заменой на современное оборудование. То есть, запроектированные системы СВК и ВМ должны были обеспечить нормируемый воздухообмен и микроклимат как на данный момент, так и на последующие, после демонтажа старых линий термообработки и постепенного добавления новых линий с другим технологическим оборудованием, другими параметрами и размещением. Положительно решить поставленную задачу возможно было только с помощью достоверного прогнозирования посредством CFD моделирования, что и было осуществлено на стадии предпроектных инженерных изысканий.

Заведующая редакцией  
издательства «Проблемы науки»  
Ефимова А.В.



Первоначально, для определения последующей общей концепции воздухораспределения, моделировалось тепло-влаго-воздушное состояние микроклимата, движение температурно-воздушных потоков термического участка, с учетом поступления воздушных масс из смежных цехов, из открытых проемов аэрационных фонарей и пр. в существующем состоянии (без применения систем вентиляции), прогнозирование производилось с учетом устанавливаемого в будущем технологического оборудования. После этого моделировались климатические ситуации, исходя из различных вариантов расположения приточных диффузоров и вытяжных устройств с различным числом исходных данных, в разные временные периоды эксплуатации, но уже с применением систем СВК и ВМ.

Линии тока скорости и температура воздушных потоков в сечениях, изометрический вид

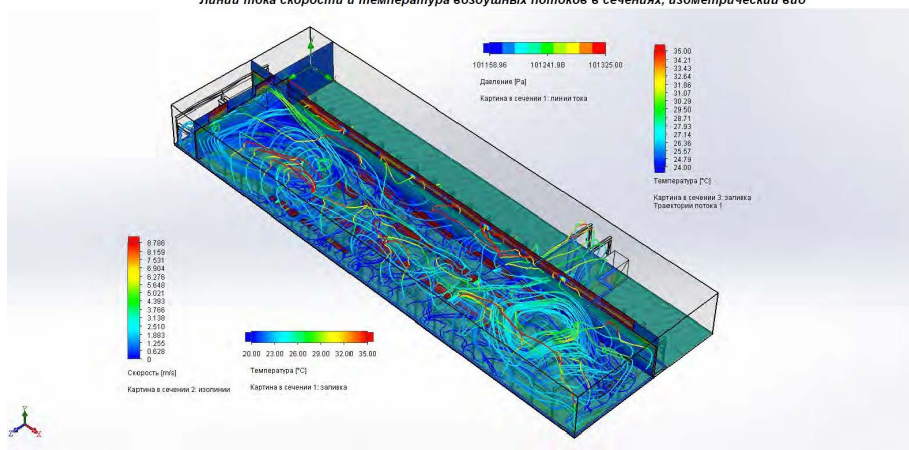


Рис. 13. CFD моделирования HVAC термического цеха

Далее производились исследования и детальный анализ полученных результатов на предмет принятия наиболее эффективной концепции по производительности, типоразмеру и размещению приточных и вытяжных устройств, в результате достоверного прогнозирования по средством CFD моделирования HVAC.В итоге была определена окончательная концепция воздухораспределения, приняты технические решения по реализации и разработке проектной документации, были внесены корректировки по расчетному сечению воздуховодов, достоверному типоразмеру, количеству и расположению воздухораспределительных и воздухозаборных устройств, был определен оптимальный воздухообмен и холодопроизводительность приточных агрегатов.

5. Ну и рассмотрим несколько нестандартных ситуаций.

Заведующая редакцией  
издательства «Проблемы науки»  
Ефимова А.В.



В 2013 году был реализован проект систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха здания теннисного клуба «Smart-ТТ» в г. Донецке, Украина. Особенность этого проекта заключалась в том, что заказчик хотел решить проблемы микроклимата помещения, с устройством систем вентиляции, кондиционирования воздуха и воздушного отопления, с помощью всего одного агрегата – руфтопа (центрального кондиционера). Да, такой климатический агрегат способен решить данную задачу, но нестандартность данного проекта заключалось в том, что для обеспечения требуемого микроклимата надо было подавать большой объем приточного воздуха (наружного и рециркуляционного) в рабочую зону теннисного зала с очень малой скоростью, не более 0,1 – 0,2 м/с (чтобы исключить любое внешнее воздействие на теннисные шарики при игре). Более того, в связи с особенностями конструктива здания: геометрической формой и низкими потолками (не желательными для помещений с таким функционалом) и расположением теннисных столов, комфортный микроклимат и воздухообмен, с нормируемой скоростью, должен был обеспечиваться полностью по всему залу, без «застойных» зон. Были произведены математические расчеты, выбрана концепция воздухораспределения, но правильность выбранных проектных решений надо было подтвердить и убедиться в их эффективности. А решить эту задачу возможно было только с достоверным прогнозированием при помощи CFD моделирования, что и было проделано. В ходе анализа трехмерного моделирования HVAC были выявлены все недостатки, внесены корректировки в выбранную концепцию воздухораспределения теннисного клуба и в итоге был получен требуемый результат.

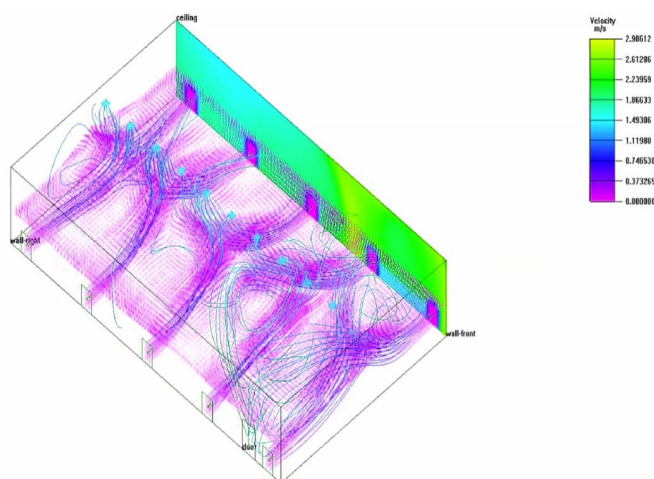


Рис. 14. CFD моделирования HVAC теннисного клуба

Или, например, в 2017 г. был реализован проект технологической вентиляции в г. Владивосток, Россия, на международном Восточном экономическом форуме. Задача была действительно очень нестандартная. От делегации Камчатского края, в рамках экспозиции «Улицы Дальнего Востока», было построено сооружение под названием «Пурга» или «Снежный куб» - здание в форме прозрачного куба, занесенного «снегом», внутри которого располагался ресепшн представительства и тренажер-симулятор для горных лыж и сноуборда.

Заведующая редакцией  
издательства «Проблемы науки»  
Ефимова А.В.



Стенки и потолок представляли собой замкнутую светопрозрачную конструкцию и, по задумке авторов, внутри этих стен должна была быть имитация настоящей снежной пурги, чтобы у людей, занимающихся на горнолыжном тренажере, было максимально реалистичное ощущение. Был закуплен специальный материал «снег», применяемый в кинематографии, оставалось только осуществить задумку при помощи системы технологической вентиляции: создать внутри светопрозрачных стен турбулентные, постоянно меняющиеся воздушные потоки, подхватывающие «снег» и имитирующие метель. Перед началом выставки данный павильон «Снежный куб» был широко разрекламирован, и посетители с нетерпением ждали его открытия. Поэтому, из-за очень ограниченных сроков, ошибиться в проектном решении было нельзя, предполагалось сделать проект и сразу же его реализовать, на экспериментальные испытания, корректировки и переустройство, если бы что-то пошло не так, времени не оставалось.

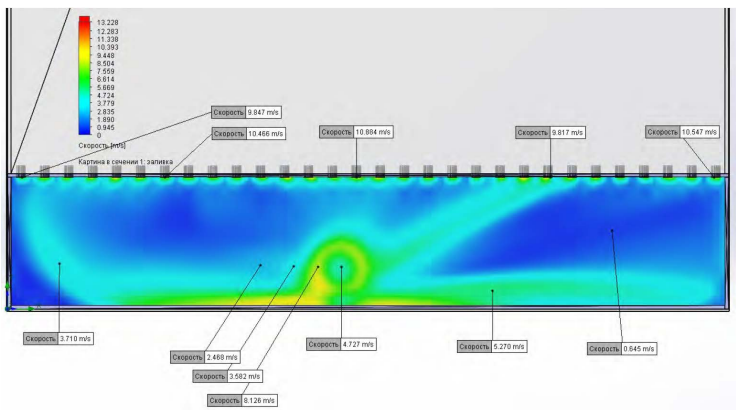


Рис. 15. CFD моделирования павильона «Снежный куб»

И здесь, конечно, на помощь пришло CFD моделирование, было произведено достоверное прогнозирование воздушных потоков внутри стен «Куба», по результатам которого, был определен фактический воздухообмен и принята окончательная концепция на основе сопловых и щелевых воздухораспределителей с последующей реализацией.

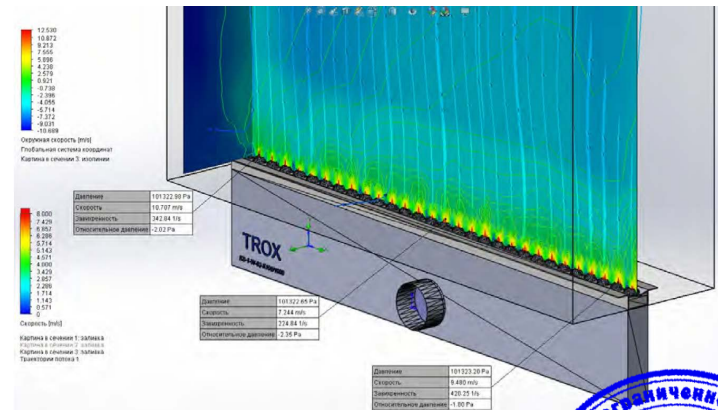


Рис. 16. CFD моделирования павильона «Снежный куб»

Заведующая редакцией  
издательства «Проблемы науки»  
Ефимова А.В.



Итак, мы с вами рассмотрели особенности трехмерного компьютерного CFD моделирования HVAC и различные примеры применения данной технологии в области проектирования систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, аспирации, пылеудаления, газоочистки и прочего. А также убедились, что современные условия и новые возможности, в области цифровых компьютерных исследований по средством достоверного прогнозирования гидрогазодинамических потоков, открывают новые перспективы и возможности в проектировании климатических систем для достижения реалистичных и эффективных результатов. Более подробно, с видеоматериалами и детальным обзором, этот вопрос освещен на нашем сайте <https://www.climat-project.com>.

### *Список литературы / References*

1. ГОСТ Р ИСО 7730-2009. Эргономика термальной среды. Аналитическое определение и интерпретация комфортности теплового режима с использованием расчета показателей PMV и PPD и критериев локального теплового комфорта.

Заведующая редакцией  
издательства «Проблемы  
науки» *Ефимова А.В.*





СЕРТИФИКАТ ВНЕСЕН В РЕЕСТР. СЕРИЯ: 77 МЕС № 00849 ОТ 05 ИЮЛЯ 2019 ГОДА  
НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 7 (42, ИЮЛЬ 2019 г.)

# НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ СЕГОДНЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ ПО НАДЗОРУ В СФЕРЕ СВЯЗИ, ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И МАССОВЫХ  
КОММУНИКАЦИЙ (РОСКОМНАДЗОР) ПИ № ФС 77 - 63295  
МЕЖДУНАРОДНЫЕ СТАНДАРТНЫЕ СЕРИЙНЫЕ НОМЕРА: ISSN PRINT 2414-5718, ISSN ONLINE 2541-7789



## CERTIFICATE

### ОБЛАДАТЕЛЬ СЕРТИФИКАТА О ПУБЛИКАЦИИ СТАТЬИ

*Ивашенко Геннадий Александрович*

главный инженер проекта,  
Творческая студия «Мастерская Климата», г. Запорожье, Украина

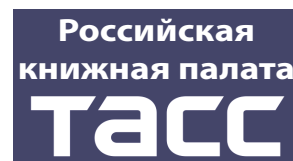
### СТАТЬЯ

### CFD МОДЕЛИРОВАНИЕ HVAC КАК НЕОТЪЕМЛЕМАЯ ЧАСТЬ СОВРЕМЕННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

<https://publikacija.ru/images/PDF/2019/42/cfd-modelirovanie.pdf>

ДАННАЯ РАБОТА ПРОШЛА ЭКСПЕРТНУЮ ОЦЕНКУ  
И ПОЛУЧИЛА ПОЛОЖИТЕЛЬНОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ  
ДАННЫЙ ЖУРНАЛ В ОБЯЗАТЕЛЬНОМ ПОРЯДКЕ РАССЫЛАЕТСЯ:

1. Библиотека Администрации Президента РФ, Москва;
2. Парламентская библиотека РФ, Москва;
3. Российская государственная библиотека (РГБ), Москва;
4. Российская национальная библиотека (РНБ), Санкт-Петербург;
5. Научная библиотека МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва (полный список на сайте журнала)



ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР ВАЛЬЦЕВ С.В.

СЕКРЕТАРЬ  
ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ ШАНСКАЯ А.С.



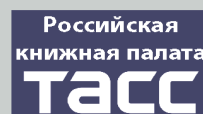
[HTTPS://PUBLIKACIJA.RU](https://publikacija.ru)



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПРОБЛЕМЫ НАУКИ»  
[HTTPS://WWW.SCIENCEPROBLEMS.RU](https://www.scienceproblems.ru)  
EMAIL: [INFO@P8N.RU](mailto:INFO@P8N.RU), +7(910)690-15-09



**CYBERLENINKA**



**НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ «НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ СЕГОДНЯ»  
В ОБЯЗАТЕЛЬНОМ ПОРЯДКЕ РАССЫЛАЕТСЯ:**

1. Библиотека Администрации Президента Российской Федерации, Москва;  
Адрес: 103132, Москва, Старая площадь, д. 8/5.
  2. Парламентская библиотека Российской Федерации, Москва;  
Адрес: Москва, ул. Охотный ряд, 1
  3. Российская государственная библиотека (РГБ);  
Адрес: 110000, Москва, ул. Воздвиженка, 3/5
  4. Российская национальная библиотека (РНБ);  
Адрес: 191069, Санкт-Петербург, ул. Садовая, 18
  5. Научная библиотека Московского государственного университета  
имени М.В. Ломоносова (МГУ), Москва;  
Адрес: 119899 Москва, Воробьевы горы, МГУ, Научная библиотека
- ПОЛНЫЙ СПИСОК НА САЙТЕ ЖУРНАЛА: [HTTPS://PUBLIKACIJA.RU](https://publikacija.ru)**



Вы можете свободно делиться (обмениваться) — копировать и распространять материалы и создавать новое, опираясь на эти материалы, с **ОБЯЗАТЕЛЬНЫМ** указанием авторства. Подробнее о правилах цитирования: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.ru>



**ЦЕНА СВОБОДНАЯ**