



ru.depositphotos.com

Решение задач распределения воздуха в спортивном зале борьбы

Д. М. Денисихина, ЗАО «Бюро техники», otvet@abok.ru

Р. Ж. Шупашева, ЗАО «Бюро техники»

А. Н. Колубков, ООО ППФ «АК»

Ключевые слова: воздухораспределение, температурное поле, поле скоростей, математическое моделирование

Воздухораспределение, являясь последним видом обработки воздуха в системах вентиляции и кондиционирования, практически полностью определяет функционал будущих систем, влияя на эффективность проектных решений, а следовательно, на целесообразность инвестиций в инженерные системы.

При этом простых и достоверных универсальных инженерных методик расчета турбулентных потоков в помещениях нет и объективно быть не может. Результирующее распределение температур, скоростей и субстанций в вентилируемых и кондиционируемых объемах формируется в сложных процессах взаимодействия вынужденных и естественно конвективных течений [1–4]. При этом известные инженерные методики приближенного расчета [5, 6] носят ограниченный характер и применимы для ряда простых частных случаев.

В настоящей статье приведено решение задачи создания эффективной системы воздухообмена и воздухораспределения в спортивном зале борьбы с трибунами на 500 мест в проектируемом здании спортшколы.

Постановка задачи

Универсальный спортивный зал площадью 2275 м² предназначен для проведения спортивных состязаний и тренировок, с двумя матами в центральной части и одним рингом. По двум сторонам зала расположены трибуны для зрителей (рис. 1).

В ходе проектного процесса были отобраны два варианта распределения воздуха.

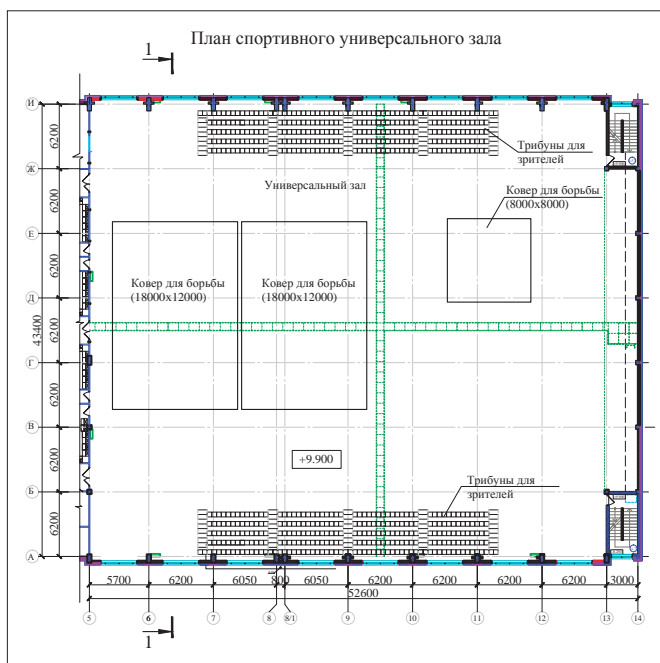
Первый вариант: подача воздуха через сопла AP600, закрепленные на воздуховодах переменного сечения от 1500×800 мм до 400×600 мм, расположенных вдоль боковых стен. Сопла на противоположных воздуховодах установлены не соосно, а со смещением в шахматном порядке. Угол поворота сопел 20° вверх. Сопла (общее количество 40 единиц, суммарный расход воздуха 40820 м³/ч) подобраны по нормативному расходу производителя с учетом длины развития струи для ее входа в рабочую зону. Удаление воздуха осуществляется в центральной части спортивного зала под потолком (рис. 2).

Второй вариант: подача воздуха через систему арочных элементов – распределителей ВГК [7], установленных на горизонтальном воздуховоде

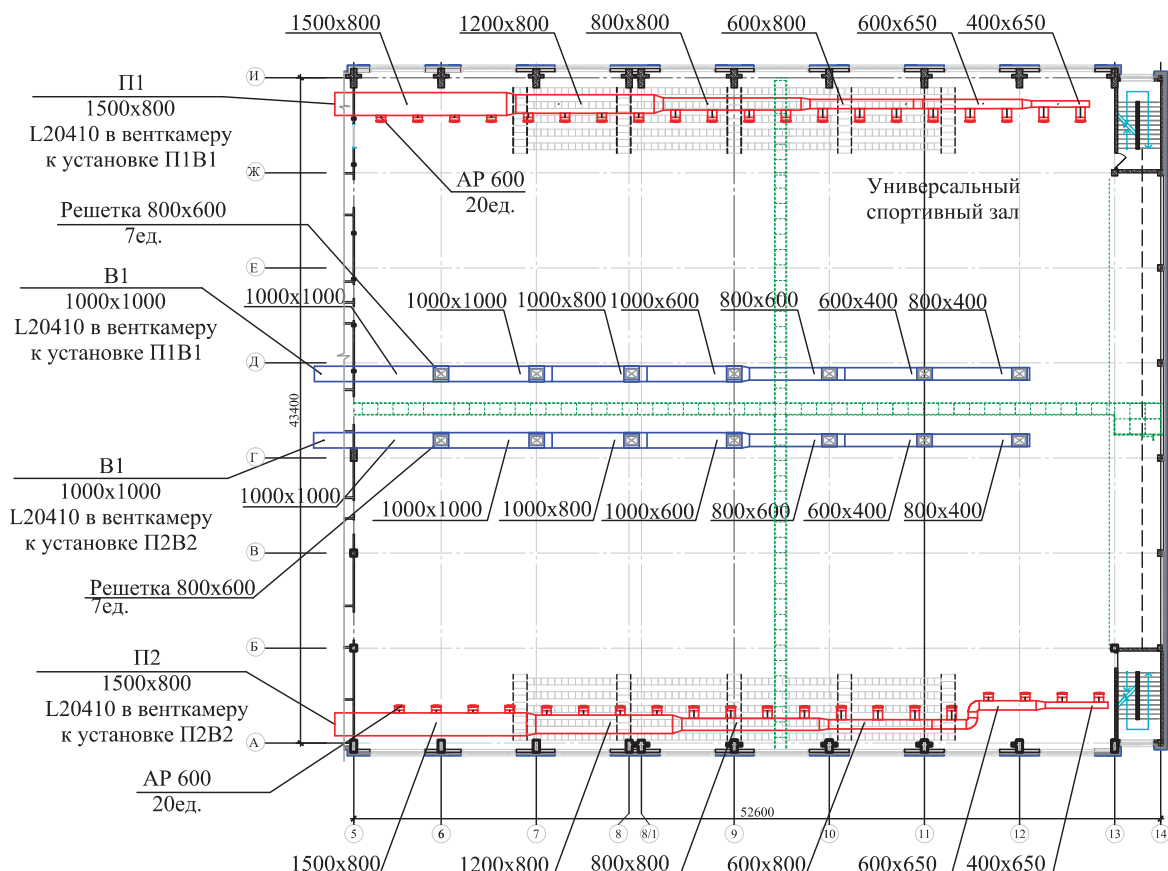
постоянного сечения 1500×750 мм, расположенном по оси спортивного зала на отметке 21,1 м. Воздух суммарным расходом 40820 м³/ч подается с обеих сторон воздуховода по 20410 м³/ч с каждой стороны; удаление воздуха – по бокам помещения из подпотолочного пространства (рис. 3).

Метод исследования

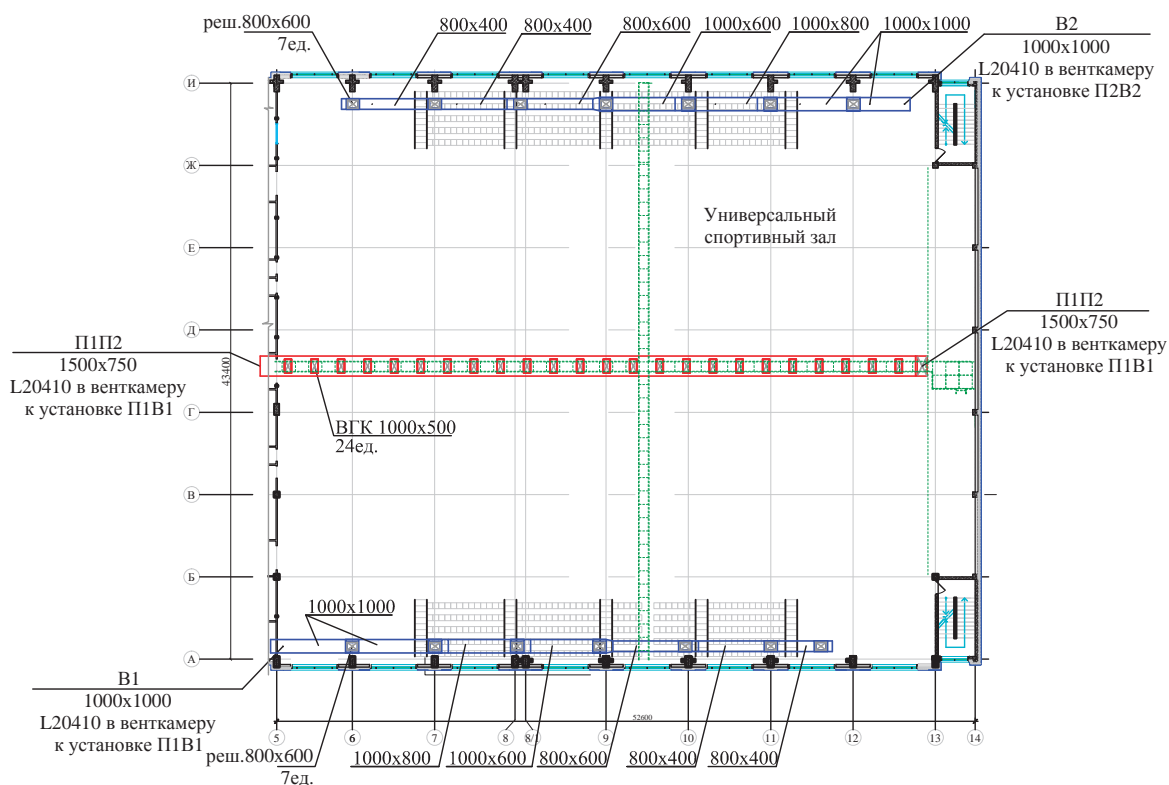
В настоящей работе для анализа параметров микроклимата в спортивном зале для двух схем воздухораспределения использовались методы математического моделирования, базирующиеся на универсальных законах сохранения (уравнениях Навье–Стокса) и позволяющие получить распределение параметров микроклимата в любом помещении. Так как дифференциальные уравнения тепло- и массопереноса в помещении в общем виде являются нелинейными, они не имеют аналитического решения и требуют привлечения



■ Рис. 1. Универсальный спортивный зал



■ Рис. 2. Первый вариант схемы воздухораспределения в спортивном зале борьбы



■ Рис. 3. Второй вариант схемы воздухораспределения в спортивном зале борьбы

методов численного моделирования, широко применяемых в различных промышленных отраслях.

Для численного решения уравнения Навье–Стокса в настоящем исследовании использовался гидродинамический пакет STAR-CCM+, хорошо зарекомендовавший себя в предыдущих работах [8, 9].

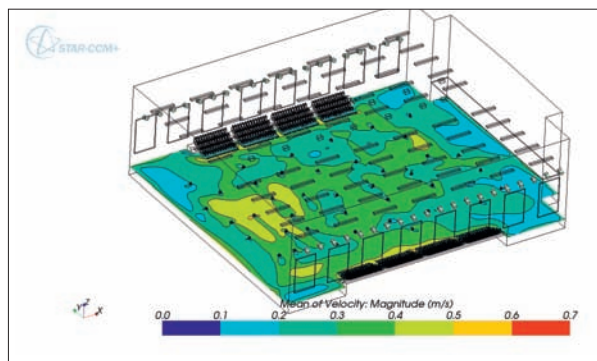
Для моделирования турбулентных течений использован подход RANS, позволяющий при умеренных вычислительных затратах (~80 ч счета, 9 млн ячеек) получать решения, точность которых

достаточна для любых задач техники вентиляции и кондиционирования.

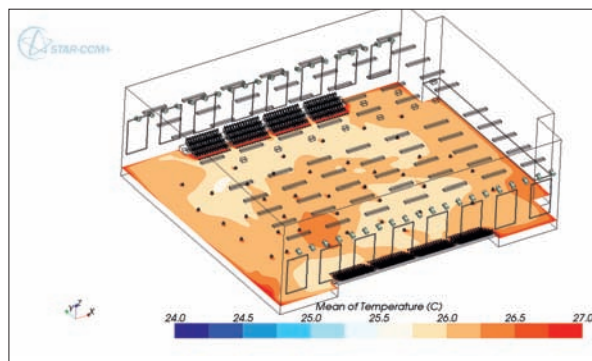
Результат исследования

Первый вариант воздухораспределения

На рис. 4 и 5 показаны температурные и скоростные поля, формирующиеся в плоскости рабочей зоны борцовских ковров в случае воздухораспределения соплами. Отчетливо видно, что расход



■ Рис. 4. Поле скоростей на высоте 1,5 м от пола



■ Рис. 5. Поле температур на высоте 1,5 м от пола

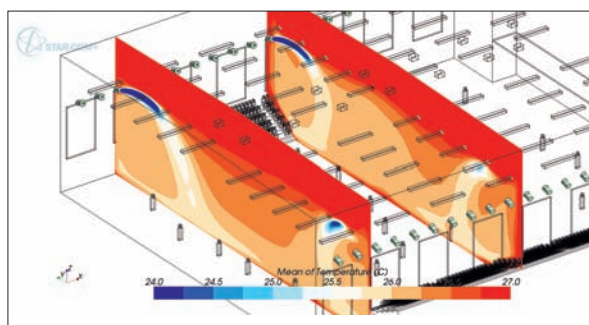
40 820 м³/ч (кратность воздуха $k = 1,15 \text{ ч}^{-1}$) способен полностью ассимилировать тепловыделения (зрители, борцы, солнечная радиация, освещение) в спортивном зале с формированием допустимых скоростных и температурных полей.

На рис. 6 показано течение в вертикальных сечениях. Видно, что характер течения поддерживается качественным анализом, а формирующиеся параметры воздуха находятся в нормативном поле.

Однако в модели есть некая интрига. В расчете предполагалось, что расход воздуха через сопловые аппараты одинаков и равен 1 020 м³/ч. Однако, учитывая высокие объемы подаваемого воздуха и количество сопел, достичь равномерного истечения воздуха через каждое сопло путем его индивидуального регулирования на практике почти невозможно. Ситуация усугубляется еще и тем, что расход наружного воздуха будет управляться по датчику CO₂, т. е. будет переменным и зависеть от числа людей в зале.

В связи с этим для выяснения воздухораспределения в помещении при истечении воздуха из сопел с фактическими расходами была создана математическая модель, включающая в себя течение в воздуховоде (рис. 7, табл. 1).

Видно, что скорость воздуха в воздуховоде примерно постоянна и имеет значения 4,7–4,0 м/с и только в конце воздуховода скорость уменьшается до 3,0–2,2 м/с в силу конструктивных особенностей. При этом расход воздуха по сопловым аппаратам оказывается существенно различен и изменяется от 517 до 1 282 м³/ч.



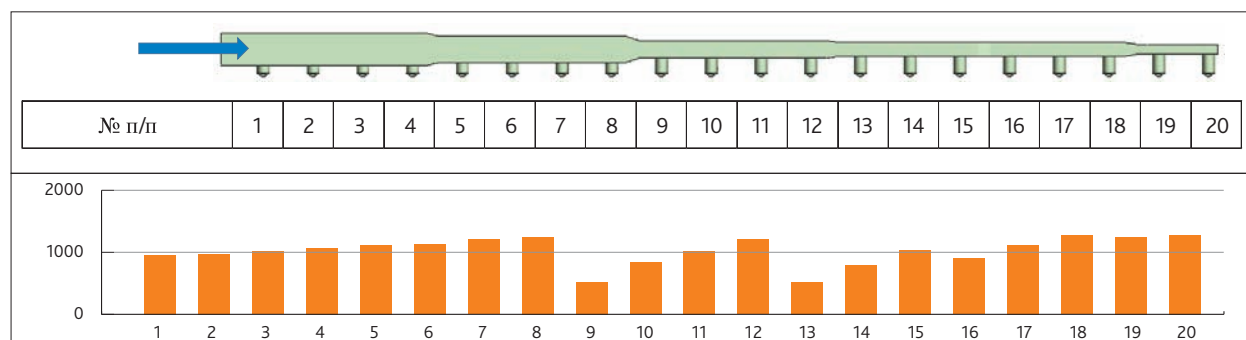
■ Рис. 6. Поля температур в вертикальных сечениях, проходящих через сопла

На рис. 8, 9, 10 показаны температурные и скоростные поля, формирующиеся в объеме спортивного зала, с учетом реального разброса в расходах воздуха по соплам, который будет иметь место в действительности.

Видно, что в этом случае течение в объеме зала (рис. 8, 9) отличается от идеализированной модели (рис. 4, 5).

Анализ результатов математического моделирования течения в объеме зала для *первого варианта воздухораспределения* при фактических расходах через сопла показал следующее:

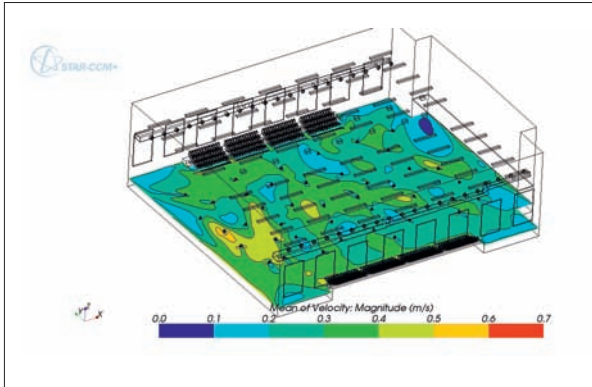
- скорость воздуха в плоскости рабочей зоны 0,2–0,4 м/с с локальными повышениями скорости до 0,5–0,6 м/с (рис. 8);
- температура воздуха в самый жаркий день лета при 100 %-ной заполненности зала зрителями составляет +25,5...+26,5 °С (рис. 9, 10), что на 1,5–2,5 °С выше расчетной проектной температуры;



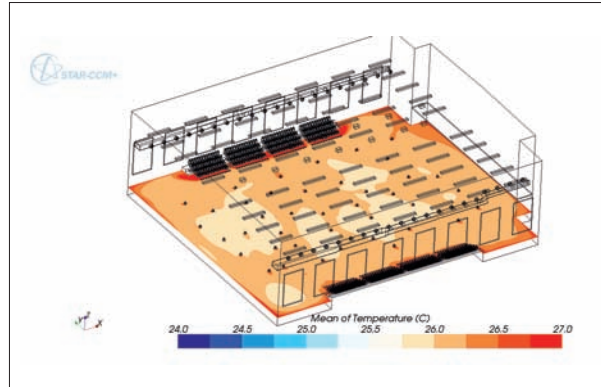
■ Рис. 7. Распределение расходов по соплам приточного воздуховода в осях 5–14/И (20 единиц)

Таблица 1

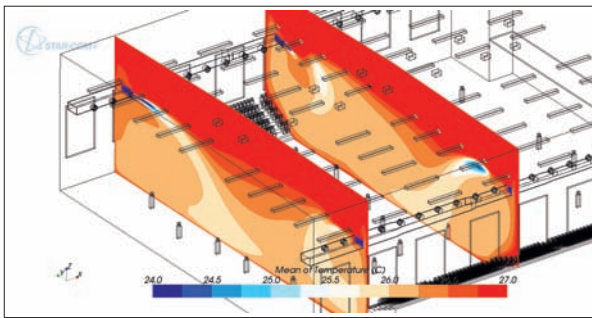
№ сопла	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Расход, м ³ /ч	959	973	1013	1069	1115	1133	1207	1244	523	835	1020	1206	517	792	1033	901	1119	1269	1244	1282



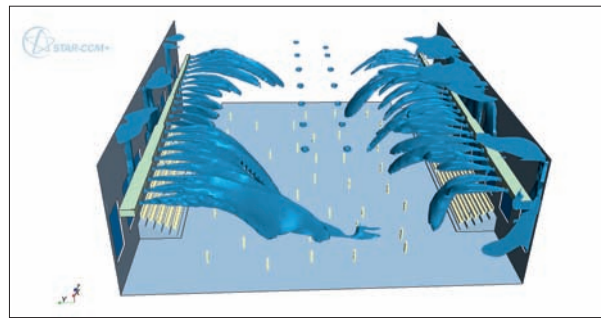
■ Рис. 8. Скорость на уровне 1,5 м от пола



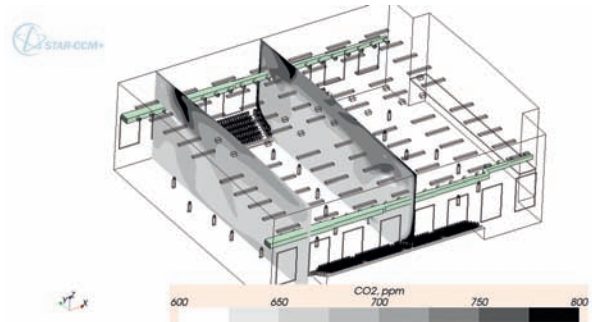
■ Рис. 9. Поле температур на высоте 1,5 м от пола



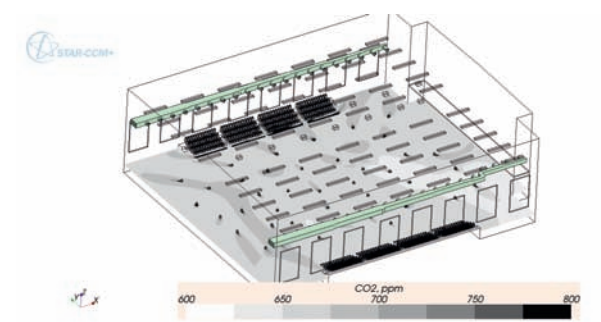
■ Рис. 10. Поля температур в вертикальных сечениях



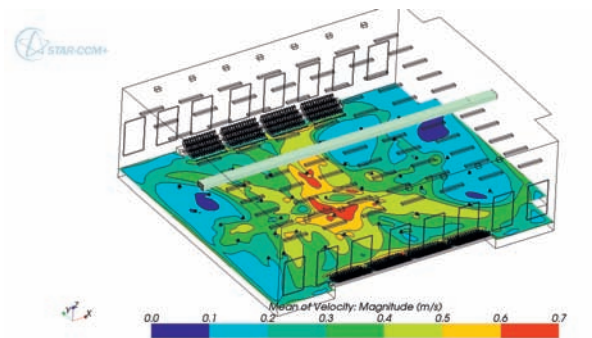
■ Рис. 11. Изоповерхности по скорости 0,6 м/с



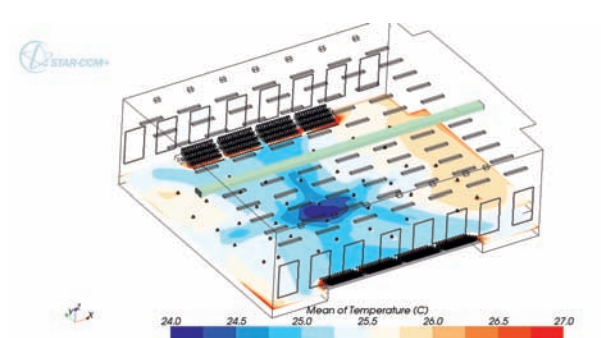
■ Рис. 12. Поле концентрации углекислого газа в вертикальных сечениях



■ Рис. 13. Поле концентрации углекислого газа на высоте 1,5 м от пола



■ Рис. 14. Поле скоростей на высоте 1,5 м от пола



■ Рис. 15. Поле температур на высоте 1,5 м от пола

- изоповерхности по скорости 0,6 м/с (рис. 11) показывают неравномерность распределения воздуха соплами по длине воздуховода: через первые 7 единиц и последние 4 единицы сопел подается гораздо большее количество воздуха, чем через центральные;
- наблюдается эжекция теплого воздуха из подферменного пространства, влияющая на повышение температуры и концентрацию углекислого газа в рабочей зоне;
- концентрация углекислого газа в рабочей зоне – 650–700 ppm (рис. 12, 13).

Второй вариант воздухораспределения

Результаты исследования течения, формирующегося в объеме спортивного зала при подаче воздуха через систему арочных элементов (распределителей ВГК), приведены на рис. 14–19. Видно, что в этом случае характер скоростных, температурных и концентрационных полей существенно отличен от случая воздухораспределения с помощью сопел (рис. 8–13).

Анализ результатов математического моделирования течения в объеме зала для *второго варианта воздухораспределения* (через арочные элементы ВГК) показал следующее:

- скорость воздуха в плоскости рабочей зоны 0,2–0,4 м/с, в центральной части зала до 0,7 м/с;
 - температура воздуха в рабочей зоне в самый жаркий день лета при 100 %-ной заполненности зала зрителями составляет +24,5...+26,0 °С. В отличие от подачи воздуха соплами, отсутствует эжекция теплого воздуха из подферменного пространства;
 - неравномерность распределения воздуха арочными элементами ВГК по длине воздуховода: через центральные ВГК воздух подается с большим расходом и большей скоростью; данный вопрос решается перераспределением количества ВГК по длине воздуховода;
 - концентрация углекислого газа в рабочей зоне спортсменов меньше, чем в случае воздухораспределения соплами, и составляет 600–650 ppm;
 - относительная влажность воздуха около 50–55%.
- Несмотря на завышение скоростей в центральной части зала, вариант подачи воздуха при помощи арочных элементов (ВГК) является более перспективным в сравнении с воздухораспределением соплами. Вот его основные преимущества:
- отсутствие эжекции теплого воздуха из подферменного пространства;

ZUBADAN

ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ



ZUBADAN ИННОВАЦИИ В ЭФФЕКТИВНОСТИ

Резина

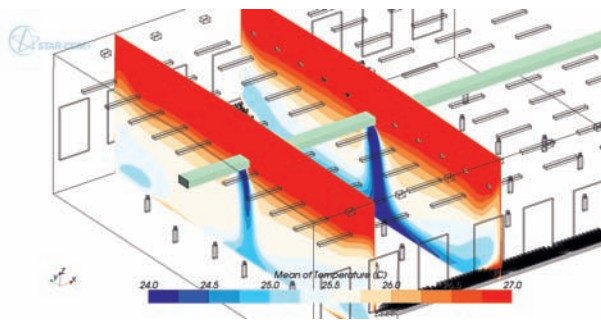
ПРОМЫШЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ

Тепловые насосы для коммерческого и промышленного использования.

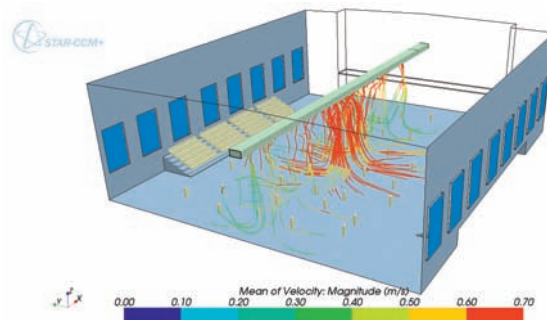
- > Не является поднадзорным оборудованием;
- > Отсутствие капитальных затрат на коммуникации и теплотрассы;
- > Высокая энергоэффективность — 1кВт затраченной электроэнергии дают от 3 до 5 кВт тепла;
- > Быстрый монтаж;
- > Поэтапный ввод в эксплуатацию;
- > Дистанционная диагностика;
- > Гарантийный срок эксплуатации — 20 лет.

www.zubadan.ru

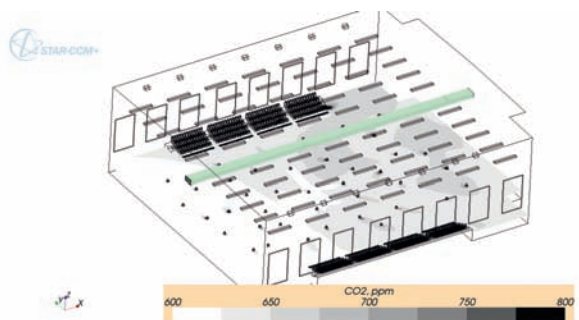
 **MITSUBISHI
ELECTRIC**
Changes for the Better



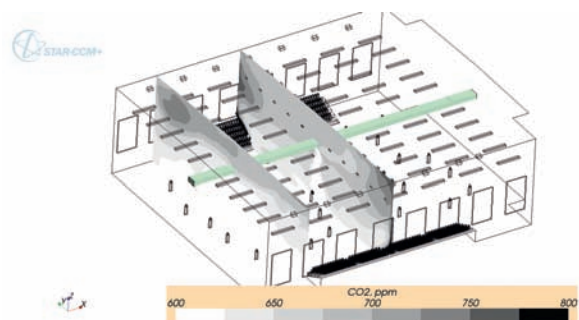
■ Рис. 16. Поля температур в вертикальных сечениях, проходящих через арочные элементы ВГК



■ Рис. 17. Линии тока из приточных арочных элементов ВГК



■ Рис. 18. Поле концентрации углекислого газа в вертикальных сечениях



■ Рис. 19. Поле концентрации углекислого газа на высоте 1,5 м от пола

- подача свежего воздуха непосредственно в зону соревнований спортсменов;
- отсутствие необходимости регулирования каждого воздухораспределителя, что облегчает монтаж, наладку и обслуживание системы;
- более эстетичный вид.

Проведение дополнительных исследований позволит определить оптимальное количество ВГК, частоту их установки и принцип подачи воздуха (боковой или вниз, возможно, комбинация обоих вариантов) для получения картины, близкой к идеальной.

Литература

1. Nielsen, P.V., Allard, F., Awbi, H. B., Davidson, L., and Schällin, A. // Computational fluid dynamics in ventilation design. REHVA Guide Book 10. REHVA. 2007.
2. Ladeinde, F., Nearon, M. CFD applications in the HVAC&R industry // ASHRAE Journal. 1997. 39 (1).
3. Zhang, Z., Zhai, J. Z., and Chen, Q. Evaluation of various CFD models in predicting room airflow and turbulence. Proceedings of Roomvent 2007, 10th International Conference on Air Distribution in Rooms, Helsinki, Finland.
4. Lee, K., Jiang, Z., Chen, Q. Air distribution effectiveness with stratified air distribution systems // ASHRAE Transactions. 2009. Vol. 115 Issue 2.
5. Позин Г. М. Принципы разработки приближенной математической модели тепловоздушных процессов в вентилируемых помещениях // Известия высших учебных заведений. № 11. Раздел: Строительство и архитектура. Новосибирск, 1980.
6. Кац Р. Д. Расчет параметров воздушной среды вентилируемых помещений // АВОК. 2005. № 4.
7. Баландина Л. Я., Бурцев С. И., Денисихина Д. М., Мальгин Ю. В. Эффективное распределение воздуха с помощью «генератора комфорта» // Инженерные системы. АВОК – Северо-Запад. 2007. № 4 (31).
8. Денисихина Д. М. Численное моделирование неизотермических турбулентных течений в помещениях плавательных бассейнов // Вестник гражданских инженеров. 2014. № 3 (44).
9. Денисихина Д. М. Особенности численного моделирования поведения воздушных потоков в объемах концертных и театральных залов // Интернет-журнал «Наукоедение». 2014. № 3 (22)]. naukovedenie.ru/PDF/81TVN314.pdf. ■