ЛЕДОВЫЕ АРЕНЫ СОЧИ

ОПЫТ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

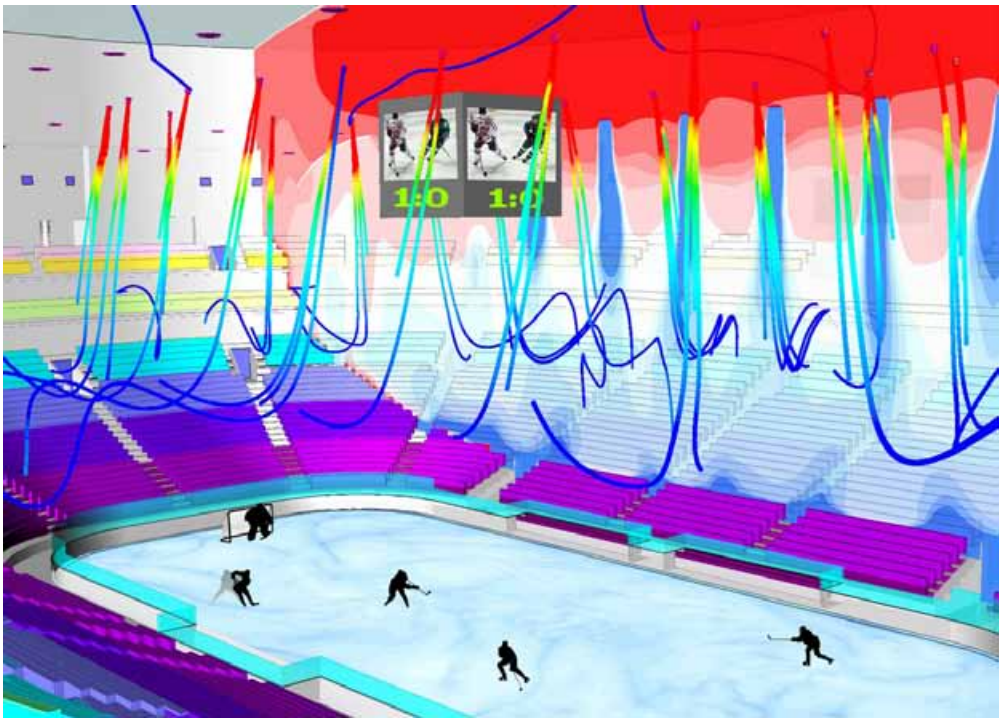
ДАРЬЯ ДЕНИСИХИНА, АНДРЕЙ КОЛОСНИЦЫН, МАРИЯ ЛУКАНИНА

Источник: www.actualnews.org

К зимним Олимпийским играм-2014 в Сочи построены новые ледовые арены. Инженеры с помощью методов математического моделирования выполнили анализ проектных решений по воздухораспределению таких олимпийских объектов, как Дворец зимнего спорта «Айсберг», Ледовый дворец «Большой» и Ледовая арена «Шайба». Проведенные исследования показали, что исходные проектные решения не обеспечивают необходимые параметры воздушной среды вблизи ледового поля и требуют соответствующей корректировки.

Источник: www.shutterstock.com

Одной из основных проблем при проектировании систем вентиляции и кондиционирования воздуха ледовых арен является необходимость поддержания отличающихся значений параметров внутреннего воздуха вблизи ледовой поверхности и на трибунах. Невыполнение требований к параметрам воздуха у ледовой поверхности приведет к неравномерному подтаиванию льда, искривлению его поверхности, что абсолютно недопустимо для олимпийских объектов. Кроме того, параметры воздушной среды непосредственно влияют на эмоциональное и физическое состояние зрителей и спортсменов.



Распределение температуры и картина течения воздуха Ледового дворца «Большой»

Особенности прогнозирования микроклимата ледовых арен

Немаловажной задачей при проектировании данных объектов является обеспечение их современной системой вентиляции и кондиционирования воздуха, позволяющей поддерживать параметры воздушной среды в объеме помещения арены. Интервал таких значений должен соответствовать комфортным и технологическим условиям.

Использование упрощенных балансовых методов, законов формирования струйных течений и т. п. для достоверного описания поведения потоков воздуха в «чаше» ледовых арен весьма затруднено, а в большинстве случаев практически невозможно. Обусловлено это такими особенностями, как:

- существенная неизотермичность течения по пространству (как по высоте, так и в горизонтальных сечениях);

ЛЕДОВЫЙ ДВОРЕЦ «БОЛЬШОЙ»

Описание: единое здание, перекрытое сферическим куполом. В основу концепции арены заложен образ замерзшей капли. Господствующий цвет покрытия купола – серебристый.

Расположение: Сочи (Россия).

Генеральный подрядчик: НПО «Мостовик».

Генеральный проектировщик: проектно-конструкторское бюро «Инфорспроект».

Архитекторы: А. А. Князев, Н. Д. Цымбал.

Основное назначение: многофункциональный спортивный, концертный и развлекательный комплекс.

Общая площадь – 85 000 м².

Общая высота – 48 м (шесть уровней, с учетом высоты подземной части).

Вместимость – 12 000 зрителей.

Строительство объекта: 2009–2012 годы.

ЛЕДОВАЯ АРЕНА «ШАЙБА»

Описание: объект сборно-разборного типа с возможностью демонтажа и переноса для строительства на постолимпийское использование в качестве Ледового дворца спорта.

Расположение: Сочи (Россия).

Основное назначение: спортивный и развлекательный комплекс.

Вместимость – 7 000 зрителей.

Площадь ледовой арены – 1 800 м^2.

Строительство объекта: 2010–2013 годы.

Источник: www.olympreka.ru

ОСОБЕННОСТИ ПОСТАНОВКИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Источник: www.sochi.bezformata.ru

Задание теплопоступлений от постановочного освещения.
Задание теплопоступлений для ледовых арен и для помещений без ледовых поверхностей существенно отличается. Это связано с тем, что излучение от осветительных приборов, падающее на лед в видимом диапазоне и высокочастотном отрезке инфракрасного диапазона частично (с коэффициентом 0,3–0,5) поглощается ледовой плитой. Поглощенная теплота увеличивает нагрузку на холодильные машины, поддерживающие заданную температуру ледовой плиты. Оно не должно учитываться при расчете нагрузки на системы кондиционирования воздуха, обслуживающие «чашу» арены. Поэтому при расчете теплопоступлений от освещения необходимо из суммарной величины теплопритоков вычесть часть теплового потока, которая будет поглощена ледовой поверхностью.

Задание теплопоступлений от зрителей.
Соотношение лучистой и конвективной составляющих теплопоступлений от людей в диапазоне температур окружающего воздуха 10–26 °С примерно 50 на 50 %, что необходимо учесть при построении математической модели. Принятие допущения (с чем часто доводится встречаться в проектной практике), что поток явной теплоты от людей поступает в помещение только через конвективную составляющую, может привести к формированию неправильной циркуляции воздуха во всем объеме «чаши».

- взаимодействие вынужденных потоков воздуха (приточные струи от сопел, диффузоров) и интенсивных свободно конвективных течений (потоки теплого воздуха, поднимающиеся от массива зрителей);
- необходимость учета радиационной составляющей на значительной части поверхностей, участвующих в теплообмене (поверхность льда и кровли).

Указанные особенности приводят к необходимости использования методов вычислительной гидродинамики для анализа и последующей корректировки проектных решений по воздухораспределению ледовых арен. Иными словами, требуется привлечение методов, основанных на численном решении системы трехмерных дифференциальных уравнений Навье – Стокса.

Математическое моделирование ледовых арен

При анализе проектных решений олимпийские объекты Ледовая арена «Шайба» и Ледовый дворец «Большой» моделировались для режима «хоккейный матч», а Дворец зимнего спорта «Айсберг» – для режимов «фигурное катание» и «шорт-трек».

Зрители являются причиной существенных тепло- и влагопоступлений в объеме арены. Кроме того, в моделях учтены теплопоступления от осветительных приборов и информационных экранов. Температура льда варьируется в зависимости от типа проводимого мероприятия. Так, для соревнований по фигурному катанию температура льдаравна –4 °С, для хоккея –5 °С, а для соревнований по шорт-треку –8 °С.

Жесткие требования при сдаче ледовых объектов предъявляются к значениям температуры и относительной влажности на отметке 1 м от уровня ледовой поверхности.

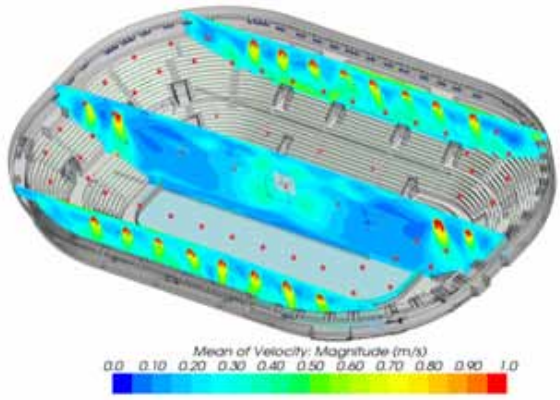
Температуру в зоне зрительских трибун следует поддерживать в диапазоне от 18 до 24 °С.

Движение хоккеистов приводит к возникновению интенсивного перемешивания воздушной среды в зоне ледового поля. Последнее ведет к разрушению ламинарного пограничного слоя на ледовой поверхности и, соответственно, к увеличению коэффициента теплоотдачи ледовой поверхности. В совокупности с интенсивным перемешиванием воздушных масс над ледовым полем это приводит к понижению (по сравнению с условиями нахождения неподвижных игроков на поле) температуры воздуха. Для моделирования подобного эффекта была создана математическая модель с внесением в область движения хоккеистов кинетической энергии турбулентности и скорости ее диссипации.

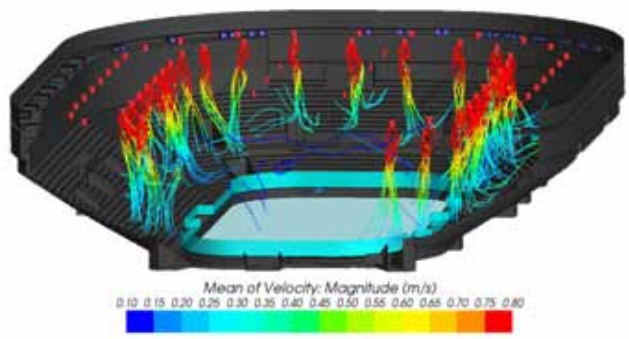
Подача воздуха в зону ледового поля

Как показали проведенные исследования, наиболее проблемным местом при проектировании оказывается организация подачи воздуха

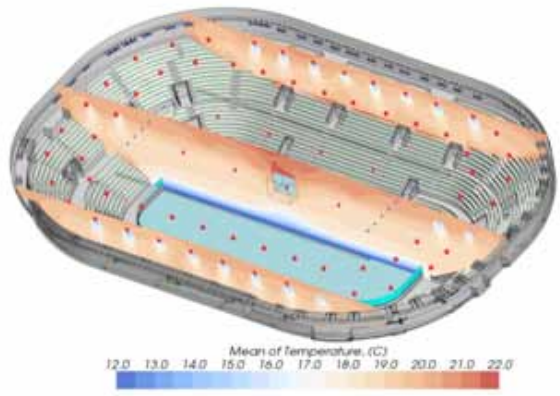
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛЕДОВОЙ АРЕНЫ «ШАЙБА»



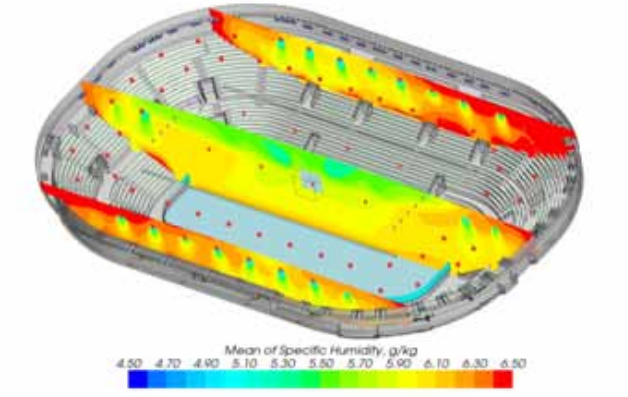
Скорость воздуха



Траектория частиц воздуха



Температура



Влагосодержание

ДВОРЕЦ ЗИМНЕГО СПОРТА «АЙСБЕРГ»

Описание: объект сборно-разборного типа с возможностью демонтажа и переноса для строительства на постолимпийское использование в качестве Ледового дворца спорта. Название вызывает ассоциации с архитектурной формой объекта.

Расположение: Сочи (Россия).

Вместимость – 12 000 зрителей.

Основное назначение: спортивный и развлекательный комплекс.

Общая площадь – 67 830 м².

Архитекторы: А. В. Боков и др.

Строительство объекта: 2009–2012 годы.

в зону ледового поля. Важная проблема состоит в том, что при выборе оборудования, например сопел, проектировщики в качестве исходных параметров для программ подбора, как правило, закладывают температуру на выходе из сопел и температуру в рабочей зоне, в данном случае вблизи ледового поля. Однако в случае ледовых арен с трибунами для зрителей это оказывается неверным.

Так, если температура приточного воздуха из сопел по проекту 20 °С, а температура на отметке 1 м над поверхностью льда 14 °С, то программа подбора (или по закономерностям распространения струйных течений) рассматривает приточную струю как «теплую», т. е. всплывающую по мере распространения в направлении ледового поля с соответственным снижением ее дальнобойности. Однако при значительных теплопоступлениях от зрителей (порядка 1 МВт), что характерно для больших объектов, в частности рассматриваемых олимпийских, температура в верхней зоне под кровлей становится выше 25 °С. В этом случае приточная струя от сопел (20 °С) в начале распространяется как «холодная» в окружающем воздухе с температурой выше 25 °С, ускоряясь при этом по отношению к изотермичной струе, и только потом по мере приближения к ледовой поверхности начинает себя вести как «теплая» и всплывает. Таким образом, фактическая дальнобойность струи существенно превышает ту величину, которую рассчитает программа подбора. Как следствие, на практике струя будет «ударяться» в лед, привнося с собой теплый воздух и вызывая таяние льда. Именно эту ситуацию мы и получили при математическом моделировании исходного проектного решения Дворца зимнего спорта «Айсберг».

Выводы

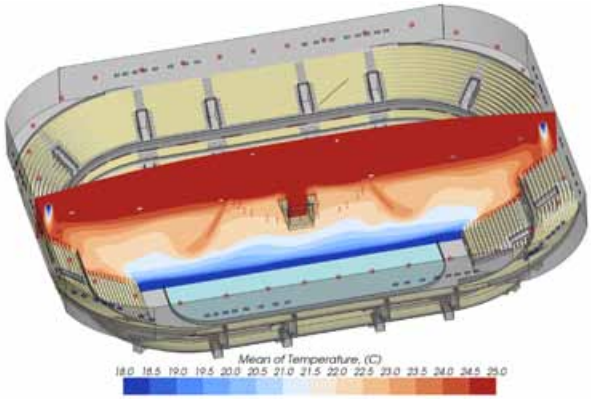
Предугадать распределение температуры воздуха в объеме арены с тем, чтобы учесть его при составлении проектного решения, без привлечения методов математического моделирования чрезвычайно сложно, а для отдельных случаев и невозможно.

Отметим, что рассмотренная проблема возникает при расчете не только ледовых арен, но и любых объектов, для которых характерно существенно неравномерное распределение температуры.

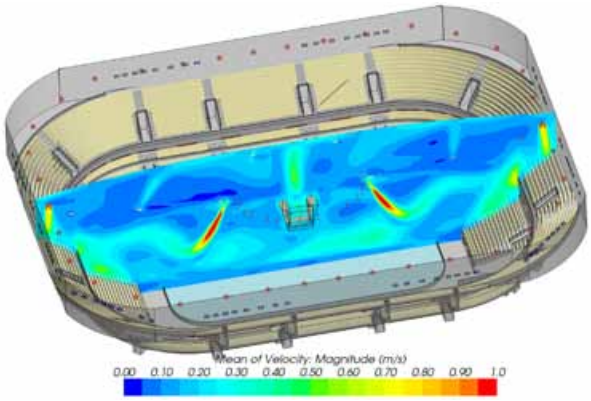
В таких случая методы математического моделирования – необходимый инструмент анализа и корректировки заложенных проектных решений по воздухораспределению. ●

ОБ АВТОРАХ

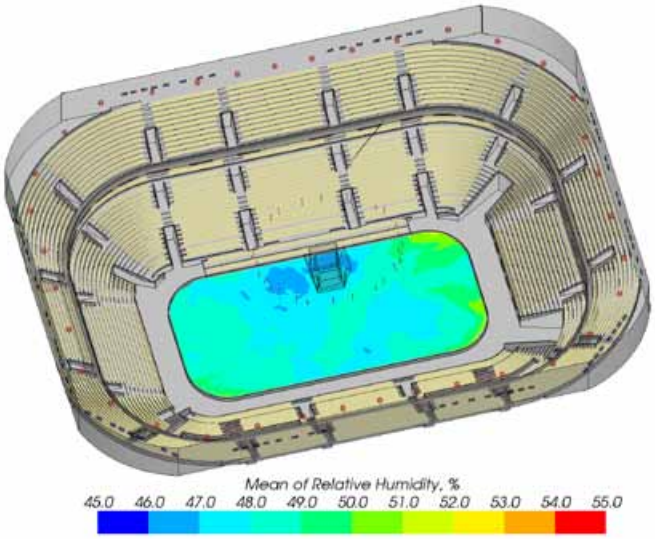
Дарья Денисихина – начальник отдела «Математическое моделирование»;
Андрей Колосницын – старший инженер;
Мария Луканина – ведущий инженер отдела «Математическое моделирование»
(ЗАО «БЮРО ТЕХНИКИ – ПРОЕКТ»).



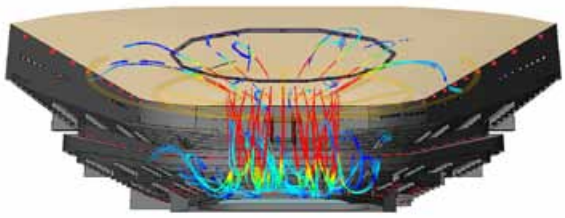
Поле температуры в центральном сечении



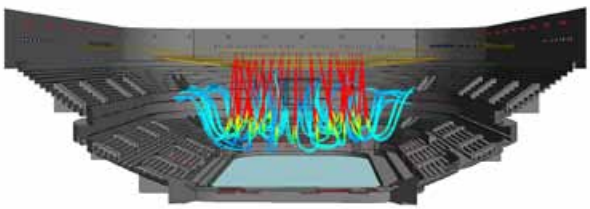
Поле модуля скорости в центральном сечении



Относительная влажность на отметке 1 м над поверхностью льда



Струи от сопел над полем.
Исходное проектное решение



Струи от сопел над полем.
После корректировки проектного решения