

Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение

УДК 697.92

DOI: 10.14529/build210306

АНАЛИЗ СХЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ КРЫТОГО КАТКА С ПОМОЩЬЮ ЧИСЛОВОЙ МОДЕЛИ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ

Л.Г. Старкова, Е.Ю. Анисимова, Н.Г. Сорокина, С.Л. Дегтярь
Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Немаловажной задачей при проектировании объектов с искусственным ледовым покрытием является обеспечение их современной системой вентиляции и кондиционирования воздуха, позволяющей поддерживать параметры воздушной среды в объеме помещения арены. Правильно организованный воздухообмен с точно рассчитанной скоростью потоков должен обеспечивать стабильные и комфортные параметры воздуха на катке для различных зон. Однако ввиду сложности картины тепловых, массообменных и воздушных процессов, происходящих в процессе эксплуатации ледовой арены, стандартные методики проектирования часто не позволяют получить желаемый результат. Поэтому на современном этапе крайне актуально стоит вопрос о повышении качества проектирования этих объектов, что возможно сделать с использованием метода компьютерного 3D-моделирования. На данный момент в РФ моделирование воздушных потоков при проектировании крытых ледовых площадок применяется только при строительстве больших объектов государственного масштаба. Данная работа представляет практическое исследование о возможности использования метода числового компьютерного моделирования для разработки решений по улучшению работы систем вентиляции существующего объекта регионального значения.

Ключевые слова: ледовая арена, параметры воздушной среды, воздухообмен, корректировка проектных решений, воздушные потоки, числовое моделирование, воздухораспределение.

Введение

В настоящее время в Российской Федерации идет интенсивное строительство объектов социально-оздоровительного назначения, в том числе крытых ледовых сооружений с искусственным покрытием, как по уникальным, так и по типовым проектам. При строительстве таких сооружений наряду с высокими требованиями к архитектурно-строительным решениям и уровню комфорта предъявляются специфические требования к микроклимату, которые должны обеспечиваться системами вентиляции и кондиционирования воздуха [1–3]. Без соответствия этим требованиям невозможно нормальное функционирование сооружения.

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.

В настоящее время для разработки проектов ледовых сооружений в РФ наработана нормативная и рекомендательная база, в которой максимально учтены технологические, санитарно-гигиенические и режимные аспекты для поддержания требуемых параметров микроклимата в различных зонах помещения [1, 2, 4–15]. Однако зачастую на практике на построенных согласно нормативным требованиям объектах все-таки не удается обеспечить в полной мере требуемых кондиций воздушной среды. Этот факт говорит о весьма сложной задаче и необходимости поиска новых, более эффективных методов проектирования систем обеспечения микроклимата для ледовых сооружений.

Данный вывод подтвержден исследованиями инженеров, которые с помощью методов компьютерного моделирования выполнили анализ проектных решений по воздухораспределению в таких олимпийских объектах, как Дворец зимнего спорта «Айсберг», ледовый дворец «Большой» и ледовая арена «Шайба» [16]. Проведенные исследования показали, что исходные проектные решения не обеспечивают необходимые параметры воздушной

среды вблизи ледового поля и требуют соответствующей корректировки.

Предугадать распределение температуры воздуха в объеме арены с тем, чтобы учесть его при составлении проектного решения, без привлечения методов компьютерного моделирования чрезвычайно сложно, а для отдельных случаев и невозможно [3]. Рассмотренная проблема возникает при расчете не только ледовых арен, но и любых объектов, для которых характерно существенно неравномерное распределение температуры. В таких случаях методы компьютерного моделирования – это необходимый инструмент анализа и корректировки заложенных проектных решений по воздухораспределению.

Описание исследования и исходные данные

Описанные выше проблемы возникли при эксплуатации физкультурно-оздоровительного комплекса с искусственным льдом «Южный Урал» в г. Южноуральске Челябинской области. Здание было спроектировано по индивидуальному проекту в 2012 году и сдано в эксплуатацию в 2018 г.

Основные характеристики объекта: площадь ледяного покрытия 1800 м², назначение и режим работы – круглогодичные тренировки и соревнования по игре в хоккей, а также массовое катание людей. Крытый каток вмещает в себя: в период соревнований – 476 зрителей и 50 спортсменов; в период тренировки – 50 спортсменов; в период массового катания – 100 человек.

На данном объекте после ввода его в режим полномасштабной эксплуатации были выявлены следующие основные проблемы:

- 1) в пространстве надо льдом ощущается повышенная влажность, иногда переходящая в состояние тумана;
- 2) наблюдается ускоренное таяние льда;
- 3) воздухораспределительные устройства не обеспечивают равномерное распределение воздуха по ледовому покрытию.

С целью поиска путей решения данных проблем было проведено научно-практическое исследование объекта.

Цель и задачи исследования

Цель исследования: разработка мероприятий, обеспечивающих наилучшее состояние ледового покрытия и оптимальные параметры микроклимата в различных зонах крытого катка, с использованием возможностей метода компьютерного моделирования процессов.

Исходя из поставленной цели сформулированы следующие задачи:

- 1) изучение и анализ отечественного и зарубежного опыта по созданию крытых ледовых сооружений;
- 2) изучение объекта исследования и анализ существующих проектных решений по вентиляции;
- 3) построение числовой компьютерной 3D-модели существующих систем воздухораспреде-

ления ледового катка по материалам проектной документации и анализ причин возникающих проблем;

4) принятие новых проектных решений на основе анализа передового зарубежного и отечественного опыта;

5) проверка эффективности принятых решений с помощью новой цифровой модели воздухо-распределения и выработка рекомендаций по их внедрению.

Описание существующих решений по вентиляции и их анализ

Для обслуживания зала ледовой арены согласно проекту выполнены две системы механической приточно-вытяжной вентиляции с частичной рециркуляцией воздуха ПВ1 и ПВ2. Система ПВ1 однозональная, обслуживает только зону ледовой арены в количестве 22500 м³/ч. Система ПВ2 – двухзональная, обслуживает частично зону ледовой арены в количестве 12500 м³/ч и зону трибун в количестве 9520 м³/ч. Воздух для подачи в зону арены подогревается до $t_n = +14$ °С, для догрева приточного воздуха, подаваемого на трибуны, до $t_n = +18$ °С, на ответвлении воздуховода к данной зоне, установлен зональный воздухонагреватель. Для борьбы с избытками влаги предусмотрена полностью рециркуляционная система с адсорбционным осушителем DT 7500 Special производительностью 33 кг/ч. Расположение воздуховодов в данных системах в объеме ледовой арены показано на рис. 1. Для поддержания требуемой температуры ледового поля предусмотрена компрессионная холодильная установка холодопроизводительностью 448 кВт. Расчетные температуры воздуха приняты: в зоне у поверхности льда $t_{в.п.} = +10$ °С; в рабочей зоне над полем (на уровне 1,5 м от поверхности льда) $t_{тр.} = +14$ °С; в зоне трибун $t_{тр.} = +18$ °С.

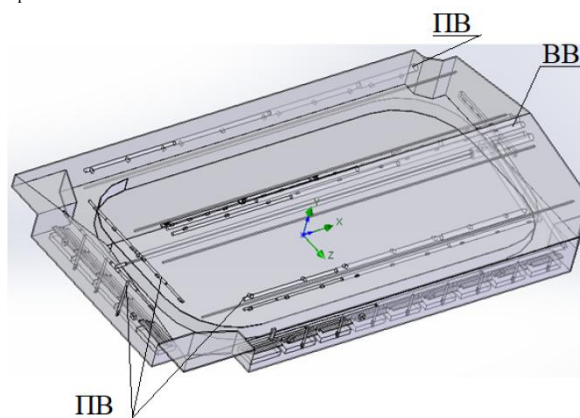


Рис. 1. Геометрическая 3D-модель систем вентиляции существующей ледовой арены

На рис. 1 приточные воздуховоды (ПВ) систем ПВ1 и ПВ2 показаны вдоль наружных стен здания, вытяжные воздуховоды (ВВ) – по центру потолка; опусками показана подача воздуха на трибуны.

С целью анализа проектных решений на соблюдение нормативных требований был выполнен проверочный расчет основных показателей проекта: необходимой мощности холодильной машины, расчет требуемых воздухообменов для зон ледовой арены в режимах соревнований, тренировки и массового катания и для зоны трибун в период соревнований и расчет избыточных влаговыделений. В результате анализа получены следующие выводы:

1) проверочные расчеты показали, что проектом правильно были определены все тепловые и энергетические показатели для обслуживания зоны ледовой арены, поэтому кардинальной реконструкции системы вентиляции со сменой теплового и вентиляционного оборудования не требуется;

2) в зоне ледовой арены обеспечивается необходимый воздухообмен, а в зону трибун подается недостаточное количество воздуха, поэтому для обслуживания зоны трибун целесообразно предусмотреть отдельную приточно-вытяжную установку;

3) результаты проверки проектных решений, подтвердили выводы [16] о необходимости более точной корректировки работы системы распределения воздушных и тепловых потоков с использованием возможностей метода компьютерного моделирования.

Особенности постановки задачи компьютерного моделирования

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 [17–19]. Обусловлено это такими особенностями, как:

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

2) взаимодействие вынужденных потоков воздуха (приточные струи от сопел, диффузоров) и интенсивных свободно конвективных течений (потоки теплого воздуха, поднимающиеся от массива зрителей);

3) необходимость учета радиационной составляющей на значительной части поверхностей, участвующих в теплообмене (поверхности 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. В качестве инструмента для решения данных уравнений был выбран программный комплекс SolidWorks. Для построения модели реального распределения по-

токов картины с помощью данного комплекса SolidWorks выполнены следующие действия:

1) создана геометрическая 3D-модель крытого ледового катка с изображением существующих конструкций ледового поля, трибун и воздухопроводов (см. рис. 1);

2) на поверхностях геометрической модели заданы граничные условия: температура, скорость, напор, направление воздуха, тепловые потоки от греющих элементов и людей;

3) выполнено построение 2D-эпюр скоростей и температур воздуха в различных характерных сечениях помещения.

Визуализация результатов моделирования тепловоздушных потоков при существующей работе систем вентиляции здания представлена на рис. 2–4.

Из эпюр температур на рис. 2а видно, что по поверхности льда не обеспечивается равномерное распределение температур; зона повышенной температуры (+12 °С) образуется в центре арены, а в зоне у бортов наблюдается риск выпадения конденсата, так как температура там меньше 5 °С. Из эпюр температур на рис. 2б видно, что не обеспечивается нормируемая температура на уровне обслуживаемой зоны: температура на ледовой арене (+9 ÷ +13 °С), в зоне трибун (+13 ÷ +16 °С).

Из эпюр скоростей воздуха на рис. 3а, б видно, что наблюдается неравномерное распределение скорости в обслуживаемой зоне, наличие застойных зон над полем, а также превышение допустимых скоростей в зоне трибун (скорость более 0,5 м/с).

На эпюре температур рис. 4а видно, как отмечалось ранее, что не обеспечивается не равномерное распределение температур по поверхности льда и зона повышенной температуры (+12 °С) в центре арены. Из эпюры скоростей на рис. 4б видно наличие значительных застойных зон по центру катка и у бортов.

По результатам построения модели работы существующей вентиляции были сделаны следующие выводы:

1) построенная компьютерная модель воздушных потоков наглядно показывает нарушение требований воздушно-теплого режима крытого катка из-за некорректного воздухораспределения потоков в помещении;

2) причиной неравномерного распределения воздушных потоков является неверная трассировка воздухопроводов и расположение воздухораспределителей, из-за чего скорость движения воздуха скачкообразно изменяется;

3) построенная модель тепловых полей показывает, что температура воздуха в рабочей зоне и возле льда не соответствует нормам и имеется риск выпадения конденсата возле бортов, усиливающийся образованием застойных зон.

Описание новых проектных решений

Анализ построенной числовой модели потоков показал, что необходимо обеспечить более

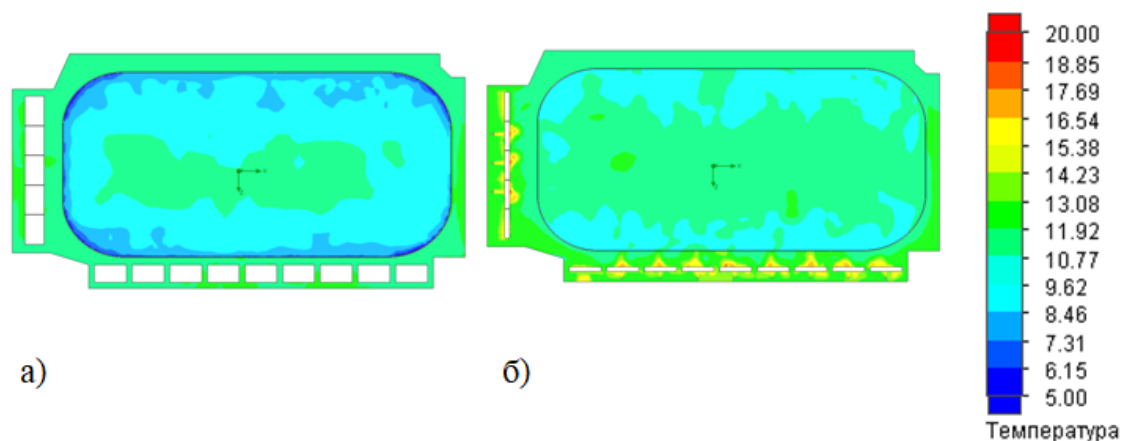


Рис. 2. 2D-эпюра распределения температур воздуха на уровне:
а – поверхности льда, б – рабочей зоны (1,5 м от поверхности льда)

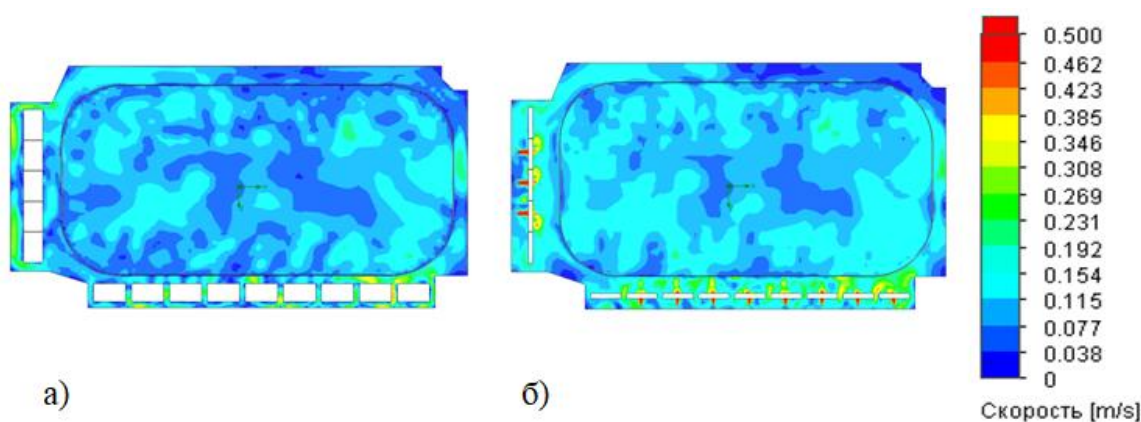


Рис. 3. 2D-эпюра распределения скоростей воздуха на уровне: а – поверхности льда;
б – рабочей зоны (1,5 м от поверхности льда)

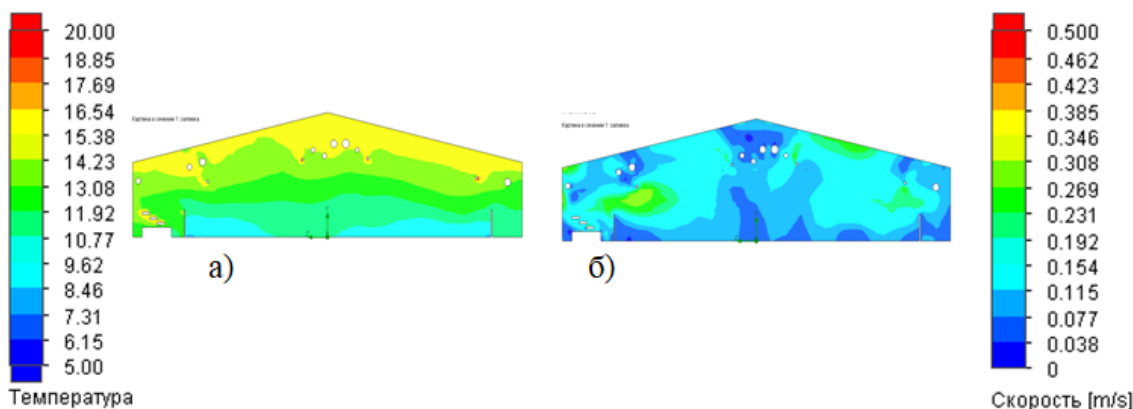


Рис. 4. 2D-эпюра распределения: а – температур; б – скоростей воздуха в поперечном сечении
ледовой арены соответственно

равномерное распределение температуры и скорости воздуха по помещению, для этого следует изменить конструкцию воздуховодов и воздухораспределителей. Полученные результаты позволили принять решения по внесению следующих изменений в системы вентиляции:

1) осуществлять подачу приточного воздуха в зону ледовой арены и в зону трибун отдельными установками, т. е. систему ПВ2 использовать только для подачи воздуха в зону трибун, а подачу в

зону поля обслуживать только системой ПВ1 и системой осушения;

2) для обслуживания зоны ледового поля в системе ПВ1 изменить трассировку воздуховодов, поменяв местами расположение приточных и вытяжных веток, и добавить дополнительные ветки приточных воздуховодов (как показано на рис. 5). Таким образом, приточные ветки (ПВ) расположить по центру (вместо вытяжных) и посередине между наружными стенами и центром потолка

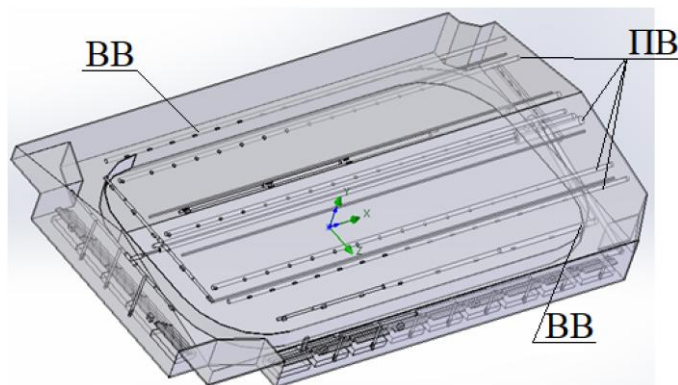


Рис. 5. Геометрическая модель ледовой арены с измененной конструкцией систем вентиляции

(дополнительные ветки), а вытяжные воздуховоды (ВВ) расположить вдоль наружных стен (вместо приточных), тем самым сконцентрировать подачу воздуха в центре помещения, выдавливая его к наружным стенам, согласно схеме, рекомендованной О.Я. Кокориным [1, 2];

3) тщательно проработать вопрос о расположении и замене приточных воздухораспределителей на новые модели – сопловые ALAa 1-20-V фирмы Swegon – и изменении их количества до 45.

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

ным. К воздуху над ледяным полем поступает конвективный холод от поверхности льда, который необходимо компенсировать теплым воздухом, чтобы не образовывался туман. Скорость воздуха у поверхности льда должна быть не более 0,25 м/с, температура воздуха 10 °С.

Расчеты, выполненные в специализированной программе ProAirWeb 1.0, показали, что наилучший результат воздухораспределения достигается при подаче приточного воздуха через сопла, располагаемые над ледяным полем. Распределение воздуха предложено осуществлять через 45 сопловых круглых приточных струйных диффузоров ALAa 1-20-V фирмы Swegon [20], работающих в режимах охлаждения и нагрева, с расходом воздуха 750 м³/ч через каждый диффузор. При подборе сопел особое внимание было уделено вопросу о равномерности распространения приточного воздуха, подаваемого соплами, для чего были построены графики распределения приточных струй, показанные на рис. 6а, б.

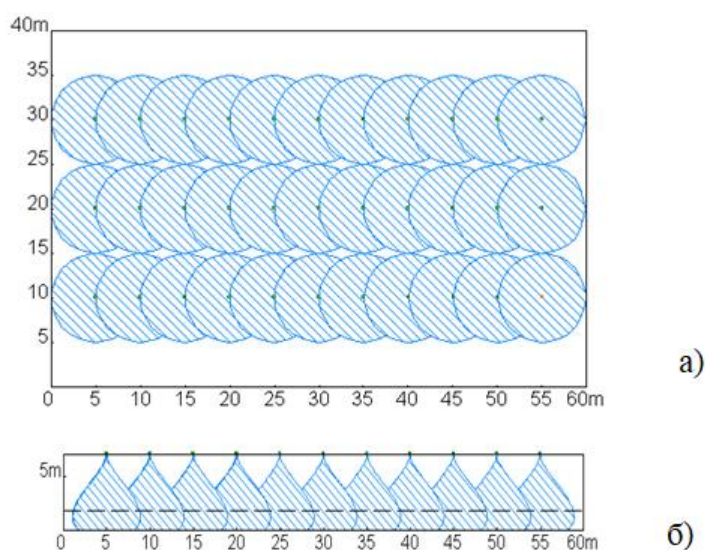


Рис. 6. Распределение приточной струи по поверхности льда: а – вид сверху, б – вид сбоку

Проверка эффективности предложенных решений

Эффективность предложенных мероприятий была проверена построением новой числовой модели воздушных и тепловых потоков.

Визуализация результатов построения этой модели представлена на рис. 7–9. Из эпюр температур на рис. 7а, 7б видно, что обеспечивается высокая степень равномерного распределения температур в диапазоне +10 °С (рис. 7а), а также что обеспечиваются нормируемые температуры воз-

духа над ледовым полем (+10 °С) и в зоне трибун (+18 °С) (рис. 7б).

Из эпюр скоростей на рис. 8а, б видно, что обеспечивается требование не превышения нормируемых скоростей воздуха над ледовым полем (0,25 м/с) (рис. 8а) и в зоне трибун (0,3 м/с) (рис. 8б).

На эпюре температур рис. 9а видно, что обеспечивается равномерное распределение температур по поверхности льда +10 °С и в рабочей зоне +10 ÷ +14 °С. Из эпюры скоростей на рис. 9б видно обеспечение требуемой подвижности воздуха над по-

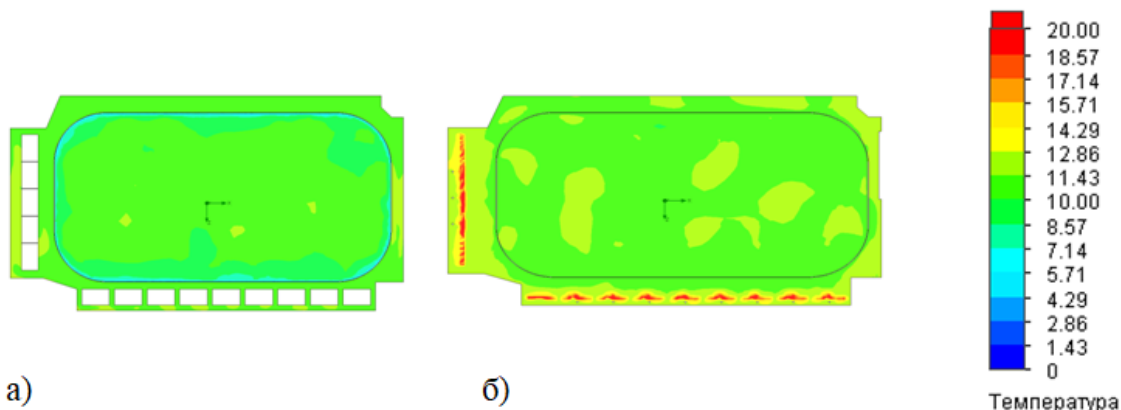


Рис. 7. Эпюра распределения температур на уровне: а – поверхности льда, б – рабочей зоны (1,5 м от поверхности льда)

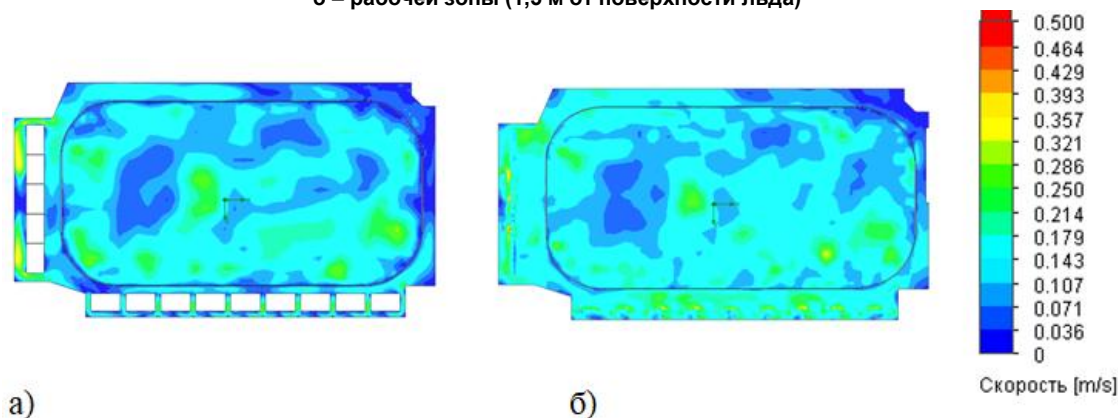


Рис. 8. Эпюра распределения скоростей (вид сверху) на уровне: а – поверхности льда, б – рабочей зоны (1,5 м от поверхности льда)

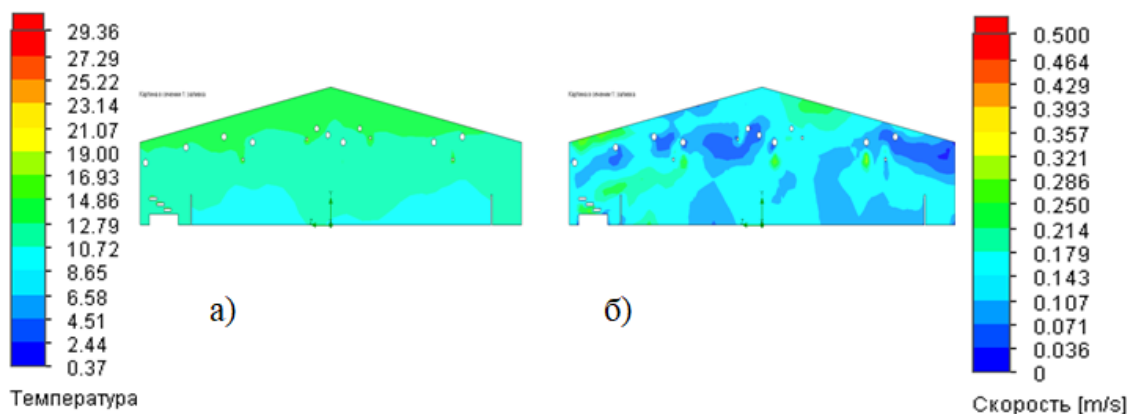


Рис. 9. 2D-эпюра распределения: а – температур, б – скоростей воздуха в поперечном сечении ледовой арены соответственно

верхностью льда и в рабочих зонах, а также отсутствие застойных зон по центру катка и у бортов.

Выводы

1. Проведенное исследование показало, что метод компьютерного числового моделирования тепловых и воздушных потоков позволил наглядно доказать, как после внесения предложенных изменений в конструкцию существующих систем приточно-вытяжной вентиляции можно добиться значительных улучшений параметров воздушной среды, необходимых для комфортной эксплуатации ледового сооружения.

2. В результате предложенных изменений на поверхности ледового поля обеспечивается равномерное распределение температурных и скоростных полей, без резких колебаний температур и застойных зон. В различных технологических зонах обеспечиваются требуемые параметры микроклимата: в рабочей зоне ледового поля температура поддерживается на уровне $t_{p.z.} = +10 \div 14$ °С, а температура у поверхности льда – $t_{в.л.} = +10$ °С. Температура в зоне трибун поддерживается $t_{тр.} = +18 \div 20$ °С. Также в рабочей зоне обеспечивается требуемая подвижность воздуха 0,25 м/с.

3. Использование данного метода раскрывает новые границы для познания картины воздухообмена в помещениях со сложными и многообразными воздушными распределениями и тепловыми потоками, а также способствует значительному повышению качества принятия проектных решений.

Литература

1. Кокорин, О.Я. *Инженерные системы помещений с искусственным льдом или снегом* / О.Я. Кокорин, Н.В. Товарас. – М.: КУРС: ИНФРА-М, 2014. – 240 с.

2. Кокорин, О.Я. *Особенности и технические средства микроклиматической поддержки крытых ледовых стадионов* / О.Я. Кокорин // С.О.К. Серия «Кондиционирование и вентиляция». – 2014. – Вып. 2. – № 7 (14). – С. 23–25.

3. Lewis, G. Harriman. *Dehumidification Equipment Advances* / G. Lewis // *ASHRAE Journal*. – August 2002. – P. 22–28.

4. Вишневский, Е.П. *Вентиляция и качество воздуха в крытых ледовых аренах* / Е.П. Вишневский // С.О.К. – 2008. – № 10. – С. 34–39.

5. Краснов, Ю.С. *Системы вентиляции и кондиционирования, рекомендации по проектированию, испытаниям и наладке* / Ю.С. Краснов // М.: Термокул, 2004. – 526 с.

6. Гримитлин, А.М. *Математическое моделирование в проектировании систем вентиляции*

кондиционирования / А.М. Гримитлин, Т.А. Дацюк, Д.М. Денисихина. – СПб.: АВОК Северо-Запад, 2013. – 192 с.

7. Гримитлин, М.И. *Распределение воздуха в помещении* / М.И. Гримитлин. – СПб.: АВОК Северо-Запад, 2004. – 320 с.

8. СП 118.13330.2012. *Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 31-06-2009*. – М.: Минрегион России, 2012. – 76 с.

9. СП 131.13330.2018. *Строительная климатология*. – М.: Госстрой России, 2018. – 110 с.

10. СП 31-112-2007. *Часть 3. Крытые ледовые арены*. – М.: Минрегион России, 2007. – 156 с.

11. СП 50.13330.2012. *Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003*. – М.: Госстрой России, 2012. – 136 с.

12. СП 60.13330.2020 с изм. 1 *Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003*. – М.: Минстрой России, 2020. – 106 с.

13. Панкратов, В.В. *Особенности климатизации ледовых арен* / В.В. Панкратов, Н.В. Шилкин // АВОК. – 2009. – № 8. – С. 24–36.

14. Мелькумов, В.Н. *Современные способы создания микроклимата крытых ледовых арен и катков* / В.Н. Мелькумов, С.В. Чуйкин // *Инженерные системы и сооружения*. – 2012. – № 2(7). – С. 68–73.

15. Жестяникова, Л.В. *Ледовые арены* / Л.В. Жестяникова, М.В. Загайнова. – СПб.: Автономная некоммерческая организация «Организационный комитет XXII Олимпийских зимних игр и XI Паралимпийских зимних игр 2014 года в городе Сочи», 2011. – 280 с.

16. Денисихина, Д. *Ледовые арены Сочи. Опыт математического моделирования* / Д. Денисихина, А. Колосницын, М. Луканина // *Здания высоких технологий, АВОК. – Лето 2013*. – С. 66–71.

17. *Дворец зимнего спорта «Айсберг»*. – <http://www.sc-os.ru/common/upload/iceberg.pdf>

18. Denisikhina, D. *Sochi Ice Skating Rinks. Numerical Simulation Experience* / D. Denisikhina, A. Kolosnicin, M. Lukanina // *E-Magazine «Sustainable buildings technologies» АВОК*. – 2013. – P. 113–117.

19. Мелькумов, В.Н. *Организация воздухообмена в крытых многофункциональных ледовых аренах* / В.Н. Мелькумов, С.В. Чуйкин // *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура*. – 2012. – № 3(27). – С. 29–36.

20. *Воздухораспределители компании «Арктос» указания по расчету и практическому применению*. – Издание № 5. – 2008. – http://arktos.ru/katalog/katalog_arktos.pdf

Старкова Лариса Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Градостроительство, инженерные сети и системы», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), starkova-lg@mail.ru.

Анисимова Елена Юрьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Градостроительство, инженерные сети и системы», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), anisimova.eyu@mail.ru.

Сорокина Наталья Георгиевна, преподаватель кафедры «Градостроительство, инженерные сети и системы», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), ovkproekt@yandex.ru.

Дегтярь Светлана Леонидовна, старший преподаватель кафедры «Градостроительство, инженерные сети и системы», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), degtiarsl@susu.ru.

Поступила в редакцию 12 мая 2021 г.

DOI: 10.14529/build210306

ANALYSIS OF VENTILATION SCHEMES FOR INDOOR ICE SKATING RINKS USING A NUMERICAL AIR FLOW MODEL

L.G. Starkova, starkova-lg@mail.ru

E.Yu. Anisimova, anisimova.eyu@mail.ru

N.G. Sorokina, ovkproekt@yandex.ru

S.L. Degtiar, degtiarsl@susu.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

An important task in the design of objects with artificial ice cover is to provide them with a modern ventilation and air conditioning system, which allows maintaining air conditions in the air-space of the rink's premises. A properly organized air exchange with an accurately calculated flow rate should ensure stable and comfortable air parameters for various zones on the rink. However, due to the complexity of the picture of thermal, mass transfer and air processes occurring during the operation of the ice rink, standard design techniques often do not allow to achieve the desired result. Therefore, at the present stage, the issue of improving the design quality of these objects is extremely important, which can be done using the capabilities of the computer 3D modelling method. Today, modelling of air flows in the design of indoor ice rinks in the Russian Federation is used only in the construction of large facilities of a national scale. The paper is a practical study on the possibility of using the method of numerical computer modelling to develop solutions in order to improve the operation of ventilation systems of an existing facility of regional importance.

Keywords: ice rink, air conditions, air exchange, adjustment of design solutions, air flows, numerical modelling, air distribution.

References

1. Kokorin O.Ya., Tovaras N.V. *Inzhenernyye sistemy pomeshcheniy s iskusstvennym l'dom ili snegom* [Engineering Systems of Premises with Artificial Ice or Snow]. Moscow, KURS: INFRA-M Publ., 2014. 240 p.
2. Kokorin O.Ya. [Features and Technical Means of Microclimatic Support for Indoor Ice Stadiums]. *S.O.K. Seriya "Konditsionirovaniye i ventilyatsiya"* [S.O.K. Journal. Plumbing, Heating, Air Conditioning. A Series of "Air Conditioning and Ventilation"], 2014, iss. 2, no. 7 (14), pp. 23–25. (in Russ.)
3. Lewis G. Harriman. [Dehumidification Equipment Advances]. *ASHRAE Journal*, 2002, pp. 22–28.
4. Vishnevskiy E.P. [Ventilation and Air Quality in Indoor Ice Arenas]. *S.O.K. [S.O.K. Journal]*, 2008, no. 10, pp. 34–39. (in Russ.)
5. Krasnov Yu.S. *Sistemy ventilyatsii i konditsionirovaniya, rekomendatsii po proyektirovaniyu, ispytaniyam i naladke* [Ventilation and Air Conditioning Systems, Recommendations for Design, Testing and Commissioning]. Moscow, Termokul, 2004. 526 p.
6. Grititlin A.M., Datsyuk T.A., Denisikhina D.M. *Matematicheskoye modelirovaniye v proyektirovanii sistem ventilyatsii konditsionirovaniya* [Mathematical Modeling in the Design of Ventilation and Air Conditioning Systems]. St. Peterburg, AVOK Severo-Zapad Publ., 2013, 192 p.
7. Grititlin M.I. *Raspredeleniye vozdukha v pomeshchenii* [Indoor Air Distribution]. St. Peterburg, Izdatel'stvo "AVOK Severo-Zapad" Publ., 2004, 320 p.
8. *SP 118.13330.2012. Obshchestvennyye zdaniya i sooruzheniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIП 31-06-2009* [Set of Rules 118.13330.2012. Public buildings and structures. Updated Edition of Building Norms and Rules 31-06-2009]. Moscow, Minregion Rossii Publ., 2012. 76 p.
9. *SP 131.13330.2018. Stroitel'naya klimatologiya* [Set of Rules 131.13330.2018. Building Climatology]. Moscow, Gosstroy Rossii Publ., 2018, 110 p.

10. SP 31-112-2007. *Chast' 3. Krytyye ledovyye areny* [Set of Rules 31-112-2007. Part 3. Indoor Ice Arenas]. Moscow, Minregion Rossii Publ., 2007, 156 p.
11. SP 50.13330.2012. *Teplovaya zashchita zdaniy. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 23-02-2003* [Set of Rules 50.13330.2012. Thermal Protection of Buildings. Updated Edition of Building Norms and Rules 23-02-2003]. Moscow, Gosstroy Rossii Publ., 2012. 136 p.
12. SP 60.13330.2020 s izm. 1 *Otopleniye, ventilyatsiya i konditsionirovaniye vozdukha. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 41-01-2003* [Set of Rules 60.13330.2020 with Change. 1 Heating, Ventilation and Air Conditioning Updated Edition of Building Norms and Rules 41-01-2003]. Moscow, Minstroy Rossii Publ., 2020. 106 p.
13. Pankratov V.V., Shilkin N.V. [Features of Air Conditioning of Ice Arenas]. *AVOK* [Association of Ventilation, Heating, Air Conditioning], 2009, no. 8, pp. 24–36. (in Russ.)
14. Mel'kumov V.N., Chuykin S.V. [Modern Ways of Creating a Microclimate for Indoor Ice Arenas and Skating Rinks]. *Nauchnyy zhurnal. Inzhenernyye sistemy i sooruzheniya. Voronezhskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet* [Scientific journal. Engineering Systems and Structures. Voronezh State Technical University], 2012, no. 2(7), pp. 68–73. (in Russ.)
15. Zhestyannikov L.V. (Ed.), Zagaynov M.V. (Ed.) *Ledovyye areny* [Ice arenas]. St. Petersburg, Avtonomnaya nekommercheskaya organizatsiya "Organizatsionnyy komitet XXII Olimpiyskikh zimnikh igr i XI Paralimpiyskikh zimnikh igr 2014 goda v gorode Sochi" Publ., 2011. 280 p.
16. Denisikhina D., Kolosnitsyn A., Lukanina M. [Ice Arenas in Sochi. Experience in Mathematical Modeling]. *Zdaniya vysokikh tekhnologiy, AVOK* [High Tech Buildings, Association of Ventilation, Heating, Air Conditioning], 2013, pp. 66–71. (in Russ.)
17. *Dvorets zimnego sporta "Aysberg"* ["Iceberg" Winter Sports Palace]. Available at: <http://www.sc-os.ru/common/upload/iceberg.pdf>
18. Denisikhina D., Kolosnitsyn A., Lukanina M. [Sochi Ice Skating Rinks. Numerical Simulation Experience]. *E-Magazine "Sustainable buildings technologies" AVOK*, 2013, pp. 113–117.
19. Mel'kumov V.N., Chuykin S.V. [Organization of Air Distribution for Indoor Multifunctional Ice Arenas]. *Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura* [Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture], 2012, no. 3(27), pp. 29–36. (in Russ.)
20. *Vozdukhoraspredeliteli kompanii "Arktos" ukazaniya po raschetu i prakticheskomu primeneniyu* [Arktos Air Diffusers Guidelines for Calculation and Practical Application]. 2008, no. 5. Available at: http://arktos.ru/katalog/katalog_arktos.pdf

Received 12 May 2021

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Анализ схем вентиляции крытого катка с помощью числовой модели воздушных потоков / Л.Г. Старкова, Е.Ю. Анисимова, Н.Г. Сорокина, С.Л. Дегтярь // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2021. – Т. 21, № 3. – С. 42–50. DOI: 10.14529/build210306

FOR CITATION

Starkova L.G., Anisimova E.Yu., Sorokina N.G., Degtiar S.L. Analysis of Ventilation Schemes for Indoor Ice Skating Rinks Using a Numerical Air Flow Model. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2021, vol. 21, no. 3, pp. 42–50. (in Russ.). DOI: 10.14529/build210306