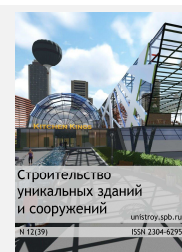


Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru



Воздухораспределение в помещениях ледовых площадок со зрителями

В.А. Пухкал¹, Д.А. Юстус²

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 190005, Россия,
Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Информация о статье	История	Ключевые слова
УДК	Подана в редакцию 24 августа 2015	ледовые арены; катки; кондиционирование воздуха; схемы организации воздухообмена; воздухораспределение;

АННОТАЦИЯ

Принятые в проектах системы воздухораспределения помещений с ледовыми площадками (катков различного назначения, ледовых арен и др.) в значительной мере определяют состояние микроклимата в зоне ледовой площадки и трибун для зрителей, а также состояние льда. В статье выполнен обзор требований к параметрам внутреннего воздуха помещений, основных решений по системам кондиционирования воздуха и схемам организации воздухообмена и воздухораспределения. Установлено, что достоверное прогнозирование параметров внутреннего воздуха в помещении, анализ и оптимизация схем воздухораспределения невозможны без привлечения методов численного моделирования температурных, скоростных и влажностных полей в объеме помещения. Выполнена проверка проектных решений по схемам воздухораспределения универсального зала на 7500 мест моделированием полей скорости, температуры и относительной влажности воздуха в объеме помещения для теплого периода года. Внесение корректировок в проектную схему воздухораспределения позволило избавиться от застойных зон в области ледовой площадки, получить значения температур воздуха в зоне трибун 14,5 – 20,5 °С и обеспечить относительную влажность на трибунах в районе оптимального значения - 55 %.

Содержание

1.	Введение	8
2.	Тепловлажностный режим помещений ледовых площадок со зрителями	8
3.	Системы кондиционирования воздуха помещений ледовых площадок со зрителями	12
4.	Цель статьи	21
5.	Постановка задачи и геометрия модели	21
6.	Расчетная сетка и параметры решателя	21
7.	Результаты численного моделирования	23
8.	Заключение	26

Контактный автор:

- +79217414201, pva1111@rambler.ru (Пухкал Виктор Алексеевич, к.т.н., доцент)
- +7(812)575-05-31, dimitryustys@mail.ru (Юстус Дмитрий Александрович, аспирант)

1. Введение

При проектировании систем кондиционирования воздуха помещений с ледовыми площадками (катков различного назначения, ледовых арен и др.) необходимо круглогодично поддерживать оптимальные параметры внутреннего воздуха [1-3]. Задача сводится к обеспечению требуемых параметров в зоне нахождения занимающихся на ледовой площадке и в зоне размещения зрителей. В каждой из этих зон необходимо поддерживать различные и значительно отличающиеся параметры внутреннего воздуха. Состояние льда в значительной степени зависит от температуры и влагосодержания слоя воздуха, прилегающего к поверхности льда, а также равномерности распределения этих параметров по площадке.

Известны проблемы таких помещений [4-9]:

- образование конденсата на поверхности ограждающих конструкций (при относительной влажности воздуха выше 60% происходит коррозия стальных крепежных и несущих конструкций; конденсат портит окраску);

- конденсация влаги на ледовой поверхности (происходит нежелательное и неконтролируемое увеличение толщины льда – ухудшение его качества);

- конденсат на остеклении площадок (препятствует наблюдению за игрой);

- образование тумана (туман мешает зрителям и спортсменам).

Поддержание требуемых параметров температуры, скорости и влажности воздуха в обслуживаемой зоне помещений с ледовой площадкой (на поверхности которой также необходимо обеспечить определенную температуру) является технически сложной и затратной задачей. Во многом состояние микроклимата и поверхности льда определяется совершенством систем воздухораспределения и схем организации воздухообмена.

В технической литературе, посвященной системам вентиляции и кондиционирования воздуха катков и ледовых арен, имеется разрозненная информация по рекомендуемым схемам организации воздухообмена и воздухораспределению в таких помещениях. При этом подходы к решениям систем кондиционирования воздуха спортивных сооружений для различных видов соревнований отличаются. В статье систематизирована информация по решениям систем кондиционирования воздуха помещений ледовых площадок со зрителями.

Анализ и оптимизация схем воздухораспределения, а также достоверное прогнозирование параметров внутреннего воздуха в помещении, невозможны без привлечения методов численного моделирования температурных, скоростных и влажностных полей в объеме помещения [10-25]. В данном случае рассматриваются проектные решения по схемам воздухораспределения универсального зала на 7500 мест.

2. Тепловлажностный режим помещений ледовых площадок со зрителями

В [1, 2] указаны расчетные параметры внутреннего воздуха для крытых катков с местами для зрителей (при расчетных параметрах наружного воздуха «Б»):

- в холодный период года: температура — плюс 18 °С; относительная влажность воздуха — 30-45%;

- в теплый период года: температура — не выше плюс 26 °С; относительная влажность воздуха — не более 60% (на катках: температура — не выше плюс 25 °С; относительная влажность воздуха — не более 55%).

Расчетным для определения холодопроизводительности холодильных станций является теплый период года.

Также нормируются параметры внутреннего воздуха для зоны размещения зрителей, зоны нахождения занимающихся и температура льда исходя из специфики вида ледового спорта [2]. На ледовых площадках нормируется температура воздуха на высоте 1,5 м над ледовой поверхностью. Значение температуры воздуха зависит от вида ледового спорта, для которого готовится арена (таблица 1).

Имеются рекомендации по параметрам воздуха и температуре льда в зависимости от специфики вида ледового спорта, отличающиеся от нормируемых [26-31]:

- хоккей с шайбой: температура поверхности ледовой площадки — минус 6,0 °С ± 0,5 °С; комфортная для хоккеистов температура воздуха на отметке 1,5 м над массивом льда — плюс 12 °С ± 1 °С; относительная влажность воздуха на той же отметке — в пределах 40—55%;

- фигурное катание: температура поверхности ледовой площадки — минус 4,5 °С ± 0,5 °С; комфортная для фигуристов температура воздуха на отметке 1,5 м над массивом льда — плюс 14 °С ± 1 °С; относительная влажность воздуха на той же отметке — в пределах 40—55%;

— шорт-трек: температура поверхности ледовой площадки — минус $6,5^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$; комфортная для спортсменов шорт-трека температура воздуха на отметке 1,5 м над массивом льда — плюс $14^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$; относительная влажность воздуха на той же отметке — в пределах 40 – 55%.

Таблица 1. Параметры микроклимата в помещениях ледовых площадок

Вид деятельности	Температура воздуха в помещении катка, $^{\circ}\text{C}$		Температура льда, $^{\circ}\text{C}$	Максимально допустимая относительная влажность воздуха в помещении катка, %
	Каток на высоте 1,5 м от льда	Трибуна (при зрителях)		
Хоккей: — игра — тренировка	+6	+10 - +15	-5	70
	+6	+6 - +15	-3	70
Фигурное катание: — соревнование — тренировка	+12	+10 - +15	-4	70
	+6	+6 - +15	-3	70

Для предотвращения выпадения конденсата на поверхности ледовой площадки (соответственно, сохранения скоростных свойств льда) следует поддерживать относительную влажность воздуха выше температуры точки росы слоя воздуха над поверхностью льда.

Скорость воздушного потока над поверхностью льда рекомендуется ограничивать значением 0,25 м/с [27, 28].

Как указано в работе [31] по технологическому заданию для соревнований по фигурному катанию и шорт-треку на ледовой площадке на высоте 1 м от поверхности льда необходимо поддерживать температуру плюс 14°C , относительную влажность 40% и влагосодержание 4 г/(кг с.в.) при скорости воздуха не более 0,2 м/с. При указанных условиях температура точки росы воздуха около 0°C .

Ледовая поверхность большой площади оказывает существенное воздействие на микроклимат в объеме помещения. Кроме конвективного теплообмена существенный вклад в тепловой баланс вносит радиационный теплообмен между ледовой поверхностью и окружающими поверхностями. Наиболее выражен радиационный теплообмен между ледовой поверхностью и покрытием, в результате которого покрытие и балки конструкции покрытия заметно охлаждаются. Если температура покрытия ниже температуры точки росы окружающего воздуха, на охлажденных поверхностях происходит конденсация влаги из воздуха, что влияет на строительные конструкции и на качество ледовой поверхности из-за возникновения «капель» (рисунок 1) [32]. Например, конденсация водяных паров из воздуха на поверхности металлических ферм и покрытия наблюдалась в помещении катка «Олимпийский» в Москве [28]. Во избежание этого необходимо контролировать температурно-влажностный режим и осушать воздух в зоне покрытия и ферм.

а)



б)



Рисунок 1. Конденсация влаги на строительных конструкциях [32]
а) конденсат на поверхности покрытия; б) «капель» на поверхности льда

Чаще всего конденсат образуется на нижней поверхности конструкций покрытия, обращенных к ледовой поверхности. Анализ результатов тепловизионной съемки ограждений ледовой площадки показывает, что конденсация влаги возможна не только на покрытии, но и на фермах и балках (рисунок 2) [33].

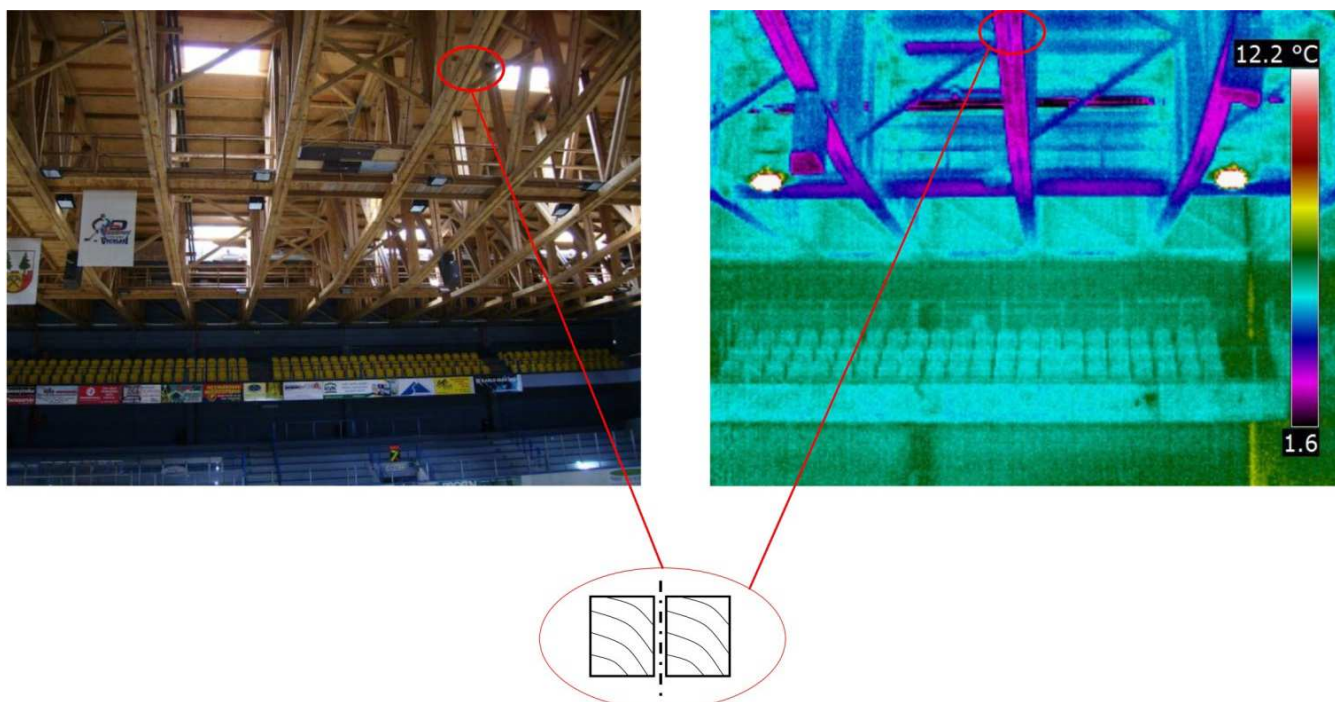


Рисунок 2. Тепловизионная съемка покрытия катка [33]

При разработке систем кондиционирования воздуха помещений с ледовыми площадками (крытых ледовых катков, ледовых арен и др.) приходится решать задачу предотвращения образования конденсата на внутренних поверхностях наружных ограждений.

Температура точки росы в помещении для предотвращения конденсации влаги на наружных ограждениях ледовой площадки при температуре поверхности льда минус 3 °С должна поддерживаться на уровне от плюс 4 до плюс 5 °С. Температура воздуха в помещениях ледовых площадок обычно варьируется от плюс 10 °С при отсутствии зрителей до плюс 18 °С при их наличии. На поверхности строительных конструкций температура должна быть на 0,5 – 1 °С выше температуры точки росы воздуха, прилегающего к конструкциям.

Есть несколько способов предотвращения конденсации влаги на наружных ограждениях:

- окраска поверхностей алюминиевой краской или покрытие алюминиевой фольгой для уменьшения радиационного теплообмена [27, 28];
- установка теплового экрана между покрытием и поверхностью льда (подвесного потолка) [34];
- продувка верхней зоны помещения подогретым воздухом [28, 35];
- осушка воздуха верхней зоны помещения [28].

Одним из наиболее эффективных способов снижения нагрузки от теплового излучения является применение экранов на основе металлизированных полимерных пленок или фольгированных материалов (рисунок 3).



Рисунок 3. Пример применения отражающего экрана в «Адлер-Арене» (г. Сочи, Россия) [30]

В последние годы вместо металлических ферм перекрытия в помещениях с искусственным льдом применяются многослойные клееные деревянные фермы. В процессе эксплуатации при непостоянном режиме работы систем вентиляции и кондиционирования воздуха различие в величинах равновесной влажности в верхних и нижних слоях древесины приводит к возникновению в ней внутренних напряжений и образованию трещин на поверхности ферм [28, 36]. Соответственно, снижается прочность ферм.

При применении клееных деревянных конструкций в помещении катка влажность окружающего их воздуха должна находиться в пределах от 45 до 75%. Это требует новых решений для систем кондиционирования воздуха помещений катков [36].

Возможно выпадение конденсата на поверхностях ограждения хоккейных бортов, установленных на ледовой площадке. Чаще всего это наблюдается на защитных стеклах (рисунок 4).



Рисунок 4. Конденсация влаги на защитных стеклах хоккейных бортов [34]

При температуре внутренней поверхности ниже $10,5^{\circ}\text{C}$ происходит образование тумана (рисунок 5). На ледовой площадке невозможно поддержание температуры точки росы в $4-5^{\circ}\text{C}$ при нормируемой температуре внутреннего воздуха 12°C . Приходится поддерживать температуру в пределах $7-8^{\circ}\text{C}$; при более высоких температурах внутреннего воздуха образуется туман.



Рисунок 5. Конденсация влаги в воздухе - туман [37]

3. Системы кондиционирования воздуха помещений ледовых площадок со зрителями

В залах крытых катков с местами для зрителей рекомендуется предусматривать самостоятельные системы распределения воздуха для зоны размещения мест для зрителей и для зоны нахождения занимающихся (соревнующихся) [1]. При этом решаются две задачи:

- создание требуемых условий в зоне трибун - для зрителей;
- поддержание оптимальных, исходя из специфики вида ледового спорта, параметров воздушной среды над ледовой площадкой – в зоне пребывания спортсменов.

В работах [27, 28] в помещениях искусственных катков рекомендуется предусматривать три системы кондиционирования воздуха. В дополнение к указанным выше устанавливается система обеспечения температуры внутренних поверхностей ограждающих конструкций здания для исключения конденсации водяных паров.

Параметры воздуха, обеспечиваемые каждой из этих систем, существенно различаются.

Системы кондиционирования воздуха ледовой площадки проектируются на условия поддержания требуемой температуры в зоне нахождения спортсменов.

Расход приточного воздуха определяется условиями равномерного заполнения ледовой площадки приточными струями и обеспечения на высоте 1,5 м от поверхности льда нормируемых условий для спортсменов (таблица 1) [27, 28].

Приточный воздух рекомендуется подавать сверху через сопла, расположенные на приточных воздуховодах по обе стороны вдоль длинной стороны ледовой площадки. Скорость движения воздуха у поверхности льда не должна превышать 0,25 м/с.

На рисунках 6, 7 представлена схема подачи приточного воздуха над ледовой площадкой через сопла. Приточные компактные струи выпускаются на высоте 24 м от поверхности льда под углом 10° к вертикали. В этом случае обеспечивается перекрытие зоны ледовой площадки шириной 30 м.

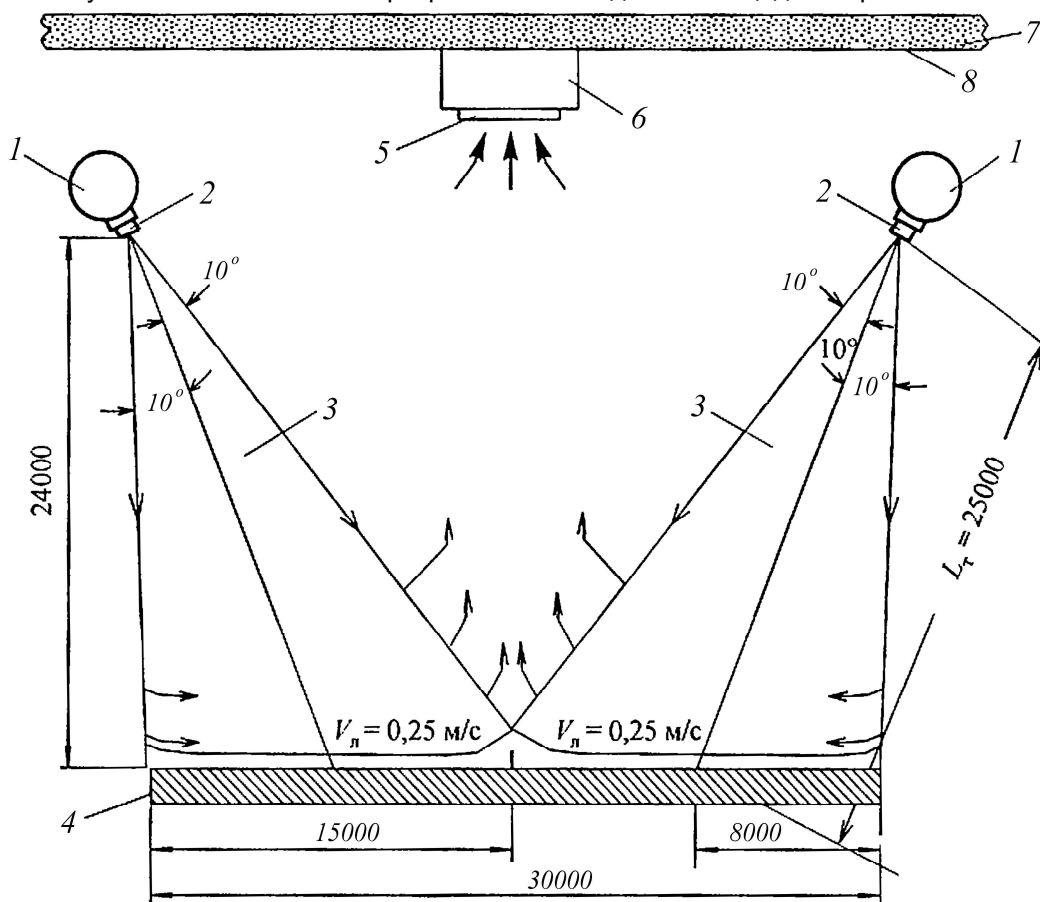


Рисунок 6. Принципиальная схема воздухораспределения системы кондиционирования воздуха ледовой площадки [27, 28]

1 — приточные воздуховоды; 2 — сопла; 3 — приточные струи; 4 — ледовая площадка; 5 — вытяжные отверстия; 6 — вытяжной воздуховод; сопла; 7 — покрытие; 8 — тепловая изоляция с фольгой на внутренней поверхности



Рисунок 7. Приточный воздуховод с сопловыми насадками для подачи воздуха наклонной струей в зону ледовой площадки

Отепленный воздух после соприкосновения струй над поверхностью льда поступает в верхнюю зону помещения и удаляется через вытяжные отверстия в вытяжном воздуховоде.

При расчете систем приточной и вытяжной вентиляции обеспечивается воздушный баланс для зоны ледовой площадки.

Традиционной схемой организации воздухообмена в зоне трибун для зрителей является подача приточного воздуха сверху-вниз через диффузоры (рисунок 8) и удаление вверх помещения (смесительная вентиляция).



Рисунок 8. Подача приточного воздуха сверху-вниз через диффузоры над трибунами для зрителей

Системы кондиционирования воздуха зоны трибун для зрителей проектируются на условия поддержания нормируемых [1, 2] параметров воздуха для зрителей.

Более эффективной для зрительских трибун является вытесняющая вентиляция при схеме воздухообмена снизу-вверх (подача приточного воздуха через специальные воздухораспределители непосредственно в обслуживаемую зону и удаление воздуха из верхней зоны помещения) [27, 28]. Приточный воздух подается под сиденья зрителей из условия обеспечения минимально допустимого расхода приточного воздуха на одного человека со скоростью 0,25 м/с и с температурным перепадом между приточным воздухом и воздухом обслуживаемой зоны 2 °С [3]. Удаление воздуха производится под потолком зала зоны зрительских трибун.

На рисунке 9 представлена схема организации вытесняющей вентиляции в системе кондиционирования воздуха, обслуживающей трибуны для зрителей [27, 28]. Приточные воздуховоды проложены в конструкциях под зрительскими местами. На основание трибун устанавливаются пластмассовые сиденья, под которыми в боковых стенках приточных воздуховодов предусмотрены приточные двухрядные решетки размером 300×100 мм. Санитарная норма приточного воздуха (20 м³/(ч·чел)) поступает в зону дыхания зрителей со скоростью не более 0,2 м/с. Выделяющиеся от людей водяные пары, явная теплота и углекислый газ вытесняются под покрытие здания.

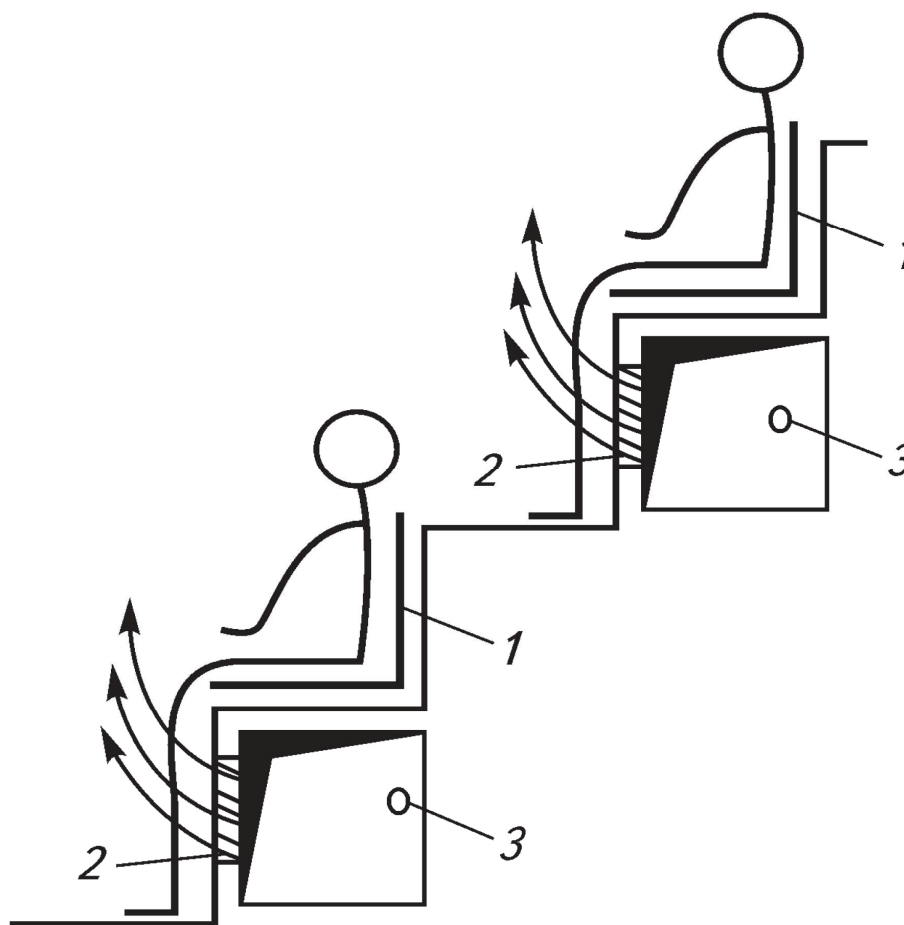


Рисунок 9. Вариант подачи санитарной нормы приточного наружного воздуха к каждому зрителю на трибунах

1 — пластиковые сиденья; 2 — приточные решетки; 3 — приточный воздуховод в строительных конструкциях трибун

Системы кондиционирования воздуха верхней зоны помещения ледовой площадки проектируются для исключения конденсации водяных паров на внутренних поверхностях и ограждающих конструкциях здания.

Для поддержания температуры поверхностей строительных конструкций выше температуры точки росы рекомендуется в верхней зоне установить воздушно-отопительные агрегаты, которые будут автоматически включаться по температуре внутренних поверхностей строительных конструкций в зоне над ледовой площадкой [28].

Вторым вариантом системы защиты от образования конденсата на строительных конструкциях является подача предварительно осушенного воздуха в верхнюю зону помещения. Вариант СКВ с использованием адсорбционных осушителей DehuTech показан на рисунке 10.



Рисунок 10. Осушитель DehuTech 1400

Рекомендуется выполнять осушку воздуха автономным осушителем вблизи ледовой площадки с подачей осушенного воздуха непосредственно в обслуживаемую зону [5].

В ряде работ отмечается, что недостатками методики расчета систем кондиционирования воздуха и систем воздухораспределения для помещений искусственных катков, является то, что зоны ледовой площадки и зрительских трибун рассматриваются обособленно [11, 39-41]. Не учитывается взаимодействие воздушных потоков с различными значениями температуры, относительной влажности и скорости воздуха.

В связи с этим представляется необходимым выполнить обзор применяемых схем организации воздухообмена в системах кондиционирования воздуха зданий с ледовыми площадками.

Крытый конькобежный центр «Адлер-Арена» (г. Сочи, Россия).

Общий вид ледовой площадки крытого катка «Адлер-Арена», рассчитанного на 8 тыс. зрителей, приведен на рисунке 11, а принципиальная схема организации воздухообмена представлена на рисунке 12 [38].



Рисунок 11. Общий вид арены крытого катка «Адлер-Арена» [38]

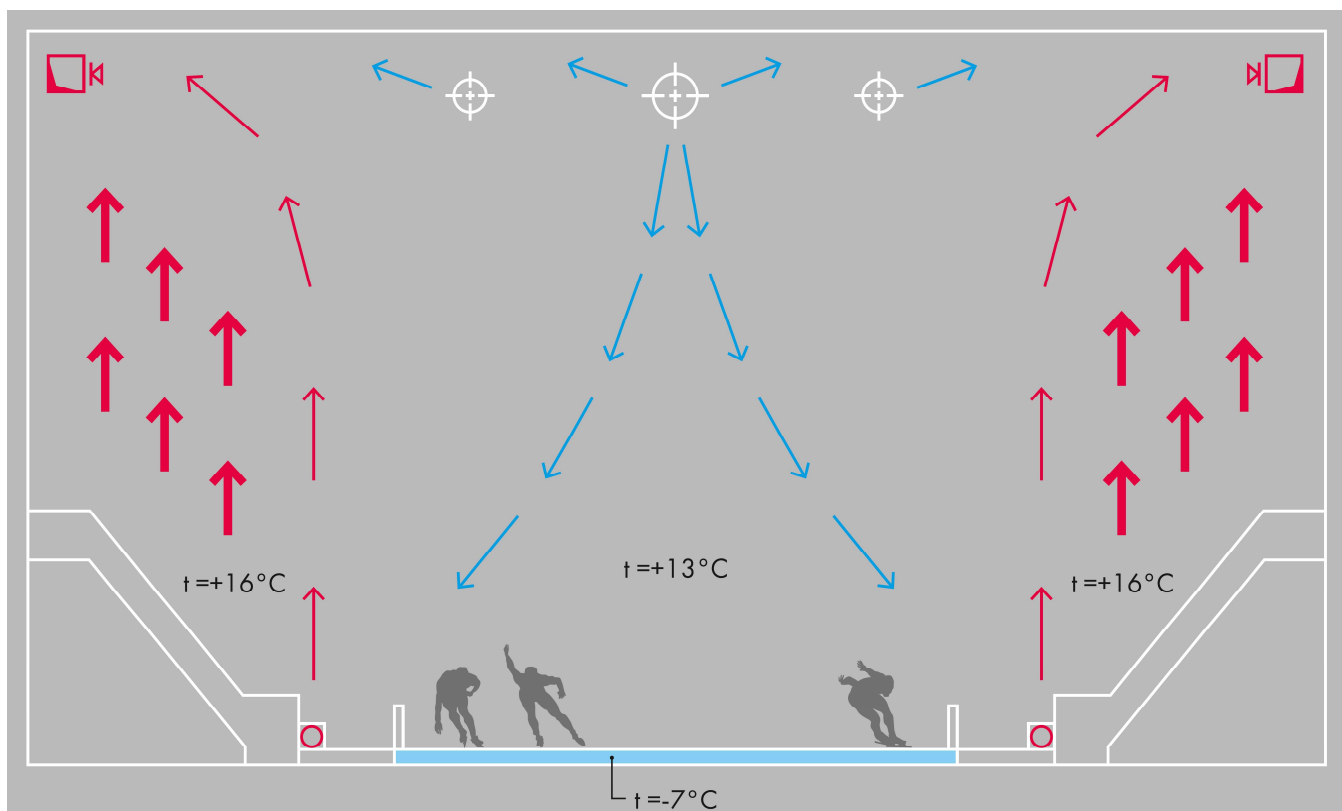


Рисунок 12. Принципиальная схема организации воздухообмена катка «Адлер-Арена» [38]

Предусмотрены две приточные системы:

- для зрителей на трибунах – подача приточного воздуха снизу-вверх через решётки (рисунок 13);
- для зоны нахождения занимающихся - система текстильных воздуховодов, установленных над ледовой поверхностью в верхней зоне (рисунок 11).

Удаление воздуха предусмотрено в верхней зоне помещения.



Рисунок 13. Подача приточного воздуха в нижнюю зону для зрителей на трибунах [30]

Положительными качествами применения текстильных воздуховодов для подачи приточного воздуха является их малая масса, простота монтажа, эстетичный внешний вид. Текстильные воздуховоды не требуют использования изоляционных материалов, так как проникаемая ткань препятствует образованию конденсата [42-45].

Применение текстильных воздуховодов над ледовой поверхностью позволило обеспечить равномерную подачу охлажденного воздуха сверху-вниз. Текстильные воздуховоды повторяют форму катка, при этом приточные струи формируются под наклоном вниз к полю, что обеспечивает подачу воздуха для спортсменов и предотвращает проникновение теплого влажного воздуха с трибун.

Общая производительность систем кондиционирования воздуха составляет: 280000 м³/ч - подача воздуха в обслуживаемую зону ледового поля и трибун, 35000 м³/ч – подача в верхнюю зону ледового поля.

Аналогичные решения с разделением систем кондиционирования воздуха на две зоны и применением текстильных воздуховодов реализованы на многих современных ледовых аренах. Например, таких как конькобежный центр «Коломна» (Коломна, Россия — рисунок 14), ледовый дворец «Алау» (Астана, Казахстан — рисунок 15), ледовая арена «Thialf» (г. Херенвене, Нидерланды — рисунок 16), и др.

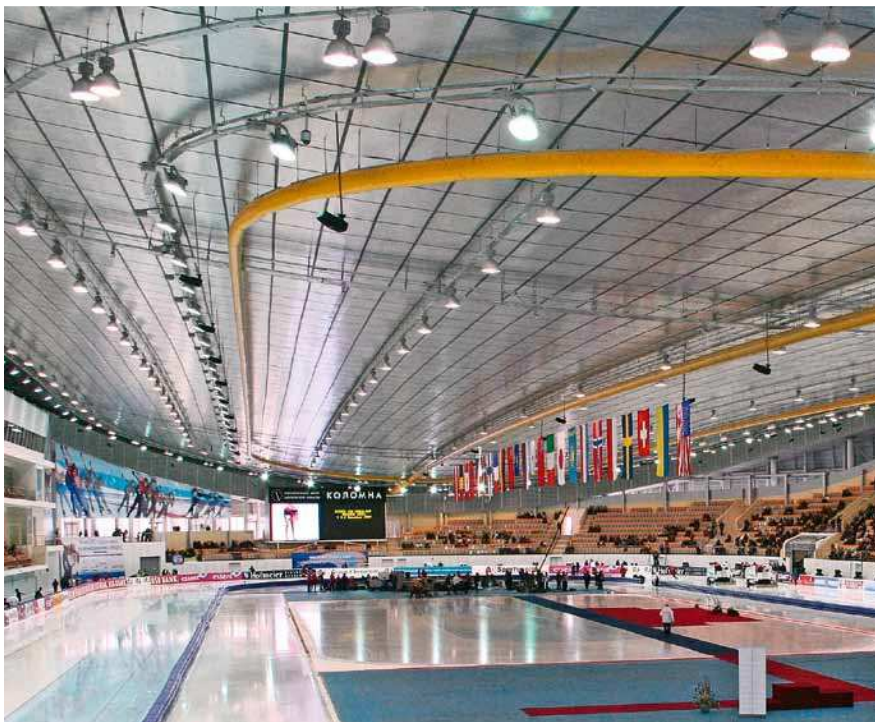


Рисунок 14. Общий вид арены конькобежного центра «Коломна» (г. Коломна, Россия) [46]

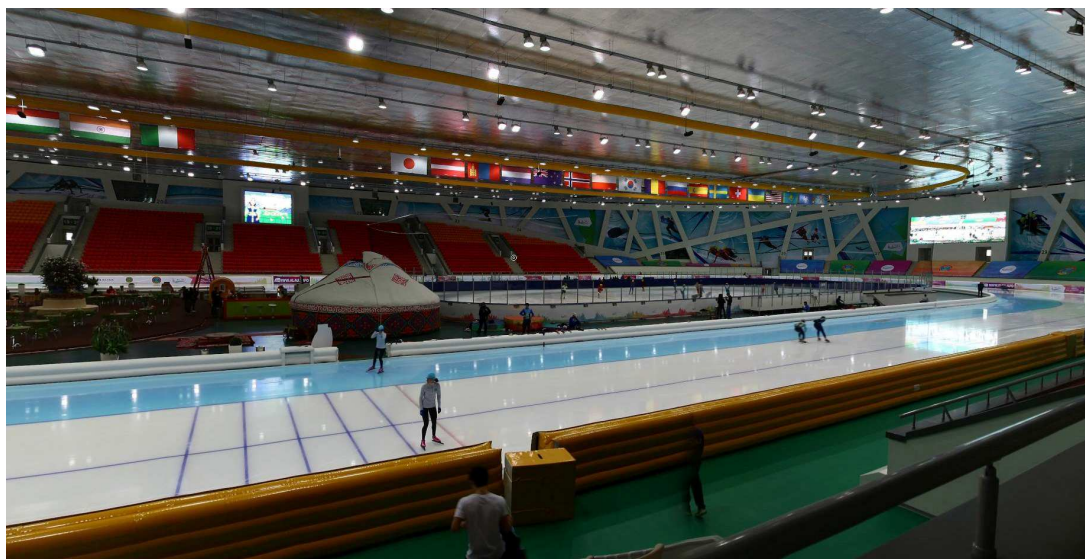


Рисунок 15. Общий вид арены ледового дворца «Алау» (Астана, Казахстан) [47]

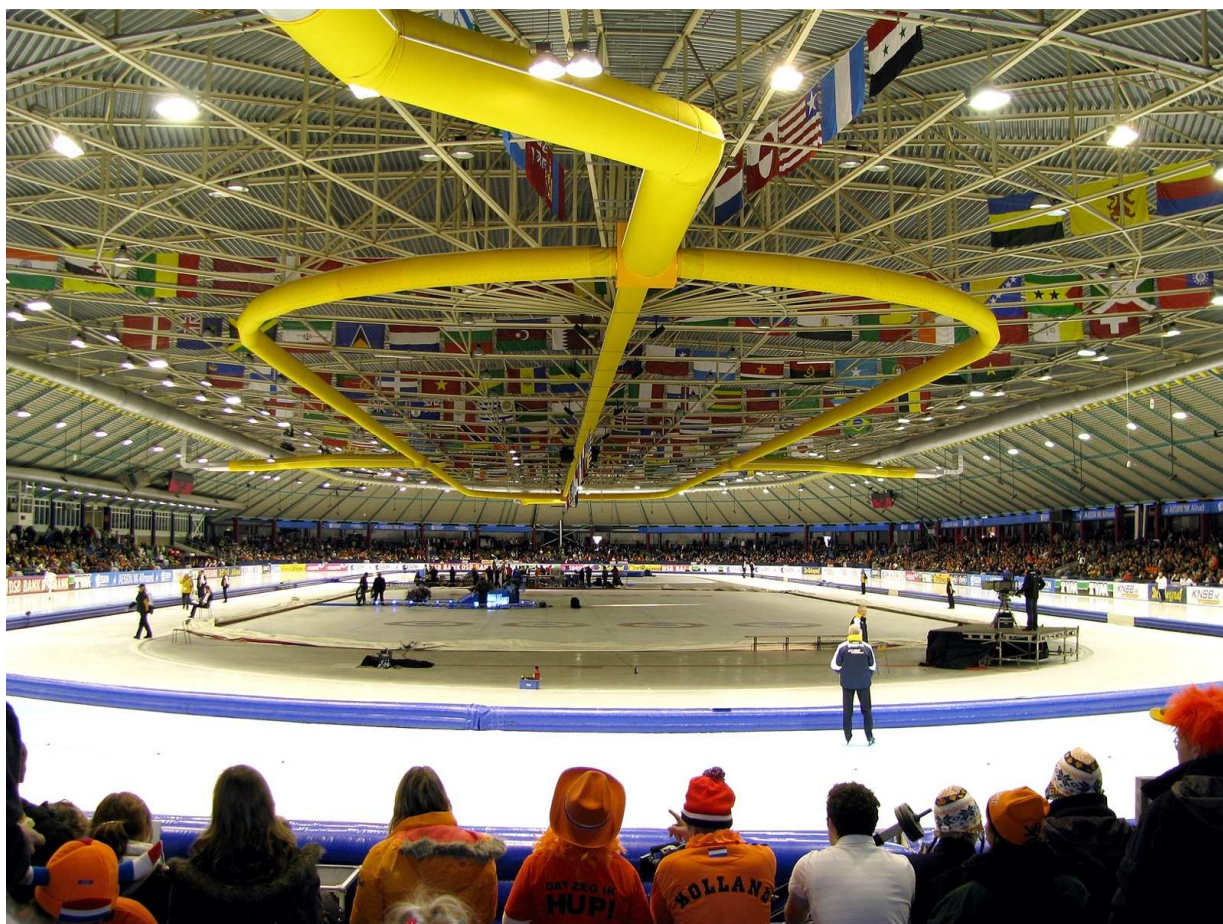


Рисунок 16. Общий вид ледовой арены «Thialf» (г. Херенвене, Нидерланды) [48]

В работе [41] отмечаются основные недостатки таких систем:

— система воздухораспределения является единой для ледового поля и зоны зрительских трибун. Это усложняет создание и поддержание параметров воздуха в этих зонах, которые существенно различны. Однако, приоритетной задачей является поддержание требуемых параметров микроклимата в зоне катания;

— в помещении ледового поля имеет место повышенная инфильтрация воздуха из внутренних помещений через большие открытые проемы внутренних ограждений с переносом теплоты и влаги в зону ледового поля.

Дворец зимнего спорта «Айсберг» (г. Сочи, Россия). Дворец построен для проведения соревнований по фигурному катанию и шорт-треку на зимних Олимпийских играх в Сочи; вместимость зала — 12 000 мест.

По мнению автора работы, [31] схема подачи приточного воздуха на границу раздела между трибунами и ледовой площадкой подходит для соревнований по хоккею с шайбой, но не может обеспечить требуемые параметры воздуха для фигурного катания. Поэтому специалисты НИЦ «Инвент» приняли решение подать приточный воздух непосредственно на ледовую арену. Для этого над ареной на высоте более 24 м был предусмотрен кольцевой воздушный коллектор, в качестве воздухораспределителей использованы сопла компании TROX (30 шт.). Для каждого сопла был определен угол установки в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Подача приточного воздуха для нижнего яруса трибун осуществляется у пола через решетки, установленные под каждым креслом. В верхнюю зону трибун приточный воздух подается сверху-вниз через вихревые воздухораспределители закрученными струями (рисунок 18). Удаление воздуха осуществляется через линейные жалюзийные решетки, установленные в верхней зоне трибун.



Рисунок 17. Общий вид ледовой арены дворца зимнего спорта «Айсберг» (г. Сочи, Россия) [49]



Рисунок 18. Подача приточного воздуха в верхнюю зону трибун дворца зимнего спорта «Айсберг» (г. Сочи, Россия) [50]

Рекомендуемая при реконструкции залов катков схема организации воздухообмена показана на рисунке 19 [51]. Подача приточного воздуха производится с различными параметрами отдельно на ледовую площадку и на трибуны для зрителей. Подготовка приточного воздуха для этих зон выполняется в разных установках.

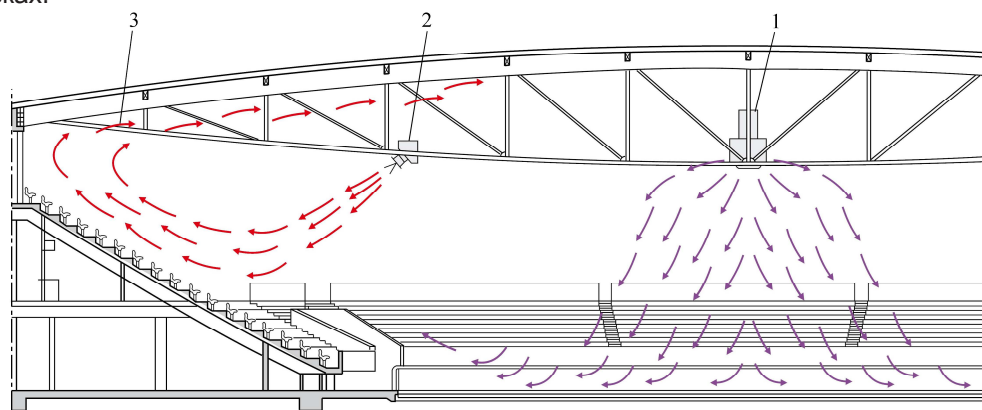


Рисунок 19. Принципиальная схема организации воздухообмена [51]

1 – воздухораспределитель вытесняющей вентиляции; 2 – воздухораспределитель смешивающей вентиляции; 3 – вытяжка в верхней зоне

Подача приточного воздуха в зону ледовой площадки производится низкоскоростным воздухораспределителем по принципу вытесняющей вентиляции (слабонеизотермический охлажденный или изотермический поток воздуха поступает в верхнюю зону помещения с малой скоростью и небольшим температурным перепадом; рисунок 20). Например, для обеспечения температуры в зоне ледового поля плюс 8 °С, температура приточного воздуха принимается равной плюс 8 °С (влажность 5 г/(кг с.в)). С помощью таких воздухораспределителей происходит равномерное поступление приточного воздуха в обслуживаемую зону. Визуализация (задымлением потока) подачи приточного воздуха и его движения в зоне ледовой площадки представлена на рисунке 20. Над ледовой поверхностью создается защитная воздушная подушка, предотвращающая поступление воздуха к поверхности льда. Монтажная высота воздухораспределителей составляет от 10 до 30 м.

Подача приточного воздуха в область зрительских трибун (с температурой для зрителей не ниже плюс 15 °С) производится с помощью круглых регулируемых диффузоров (рисунок 21). Диффузоры формируют комбинированный приточный поток: симметричную настилающуюся веерную струю через щель между корпусом и внутренним диффузором и вертикальную коническую закрученную струю через центральную вставку, что обеспечивает равномерность параметров воздуха в обслуживаемой зоне.

Удаление вытесненного из зоны ледовой площадки и зоны трибун воздуха осуществляется из верхней зоны.

Работы по анализу проектных решений по воздухораспределению таких олимпийских объектов, как дворец зимнего спорта «Айсберг», ледовый дворец «Большой» и ледовая арена «Шайба» с помощью методов математического моделирования показали, что исходные проектные решения не обеспечивают необходимые параметры воздушной среды вблизи ледового поля и требуют корректировки [11].

Отмечаются следующие особенности помещений, которые необходимо учесть при расчете воздухораспределения [11]:

- существенная неизотермичность течений в объеме помещения (по высоте и в горизонтальных сечениях);
- взаимодействие приточных струй и конвективных течений от зрителей;
- влияние радиационного теплообмена ледовой поверхности с окружающими поверхностями и конструкциями.

При подаче воздуха в зону ледовой площадки приточная струя при истечении распространяется как «холодная» в окружающем воздухе, а при приближении к ледовой поверхности начинает себя вести как «теплая». Соответственно, вызывает затруднение определение коэффициентов неизотермичности для приточных струй при использовании «традиционных» методов расчета воздухораспределения [52].

Проведенные исследования показали, что:

— «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»;

— «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».

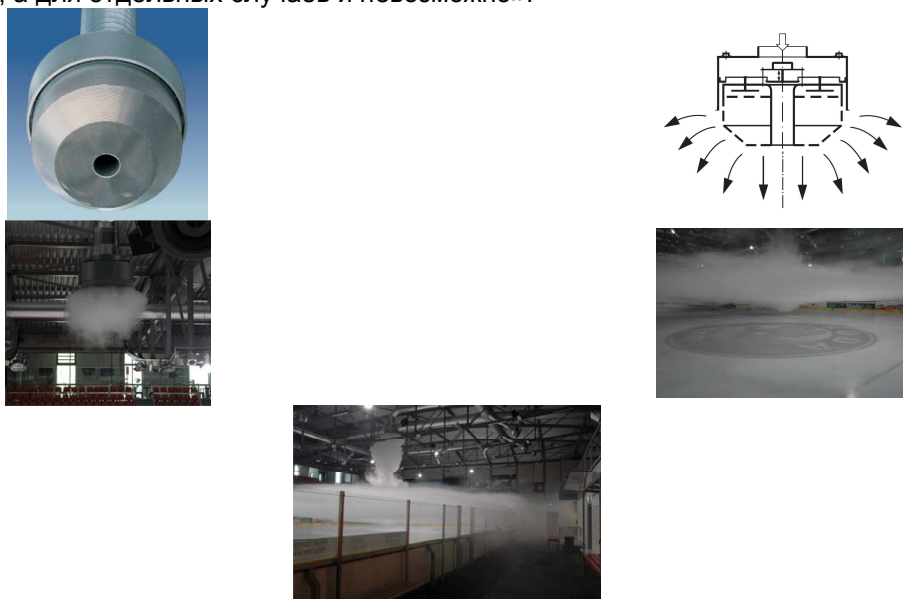


Рисунок 20. Низкоскоростной воздухораспределитель [51]

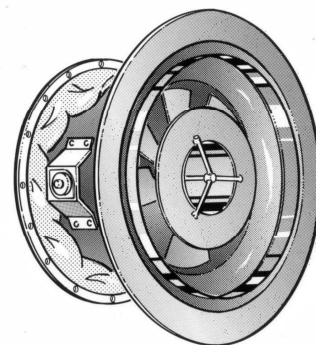


Рисунок 21. Регулируемый диффузор [51]

На основании вышеприведенного описания решений можно сделать заключение, что основными принципами проектирования систем кондиционирования воздуха и схемами организации воздухообмена помещений ледовых площадок со зрителями являются:

- исключение конденсации влаги на наружных ограждениях окраской поверхностей алюминиевой краской, покрытием алюминиевой фольгой, установкой теплового экрана между покрытием и поверхностью льда;
- устройство самостоятельных систем подготовки и распределения воздуха для зоны размещения мест для зрителей и для зоны расположения занимающихся.

4. Цель статьи

Анализ и оптимизация проектной схемы воздухораспределения зала ледовой арены (в теплый период года) при выполнении наладочных работ путем численного моделирования температурных, скоростных и влажностных полей в 2D постановке.

5. Постановка задачи и геометрия модели

Рассматриваются проектные решения по схемам воздухораспределения универсального зала на 7500 мест (рисунок 22). Зал предназначен для проведения учебно-тренировочного процесса и соревнований по хоккею, баскетболу, волейболу, а также культурно-зрелищных и других мероприятий.

В проектом варианте предусмотрен приток воздуха системами П1 – П4 в зону ледовой площадки и в зону трибун (рисунок 23, таблица 2). Удаление воздуха из обслуживаемой зоны трибун (В3) и из верхней зоны (В1, В2).

Заданы производительности приточных и вытяжных систем, параметры приточного воздуха, типы приточных устройств (таблица 2).

По проектным данным приняты:

- удельные тепловыделения: от зрителей в зоне трибун - 60 Вт/м^2 ; в подферменном пространстве (освещение, ограждающие конструкции) - 1 Вт/м^2 ;
- удельные влаговыведения - $7,2 \text{ г/(м}^2 \cdot \text{ч)}$;
- температура поверхности льда – минус 6°C .

6. Расчетная сетка и параметры решателя

Расчет выполнен в программном комплексе ANSYS Fluent в стационарной постановке. Решаются уравнения энергии, движения и массопереноса водяного пара под действием силы тяжести. Использована модель RNG k-ε модель турбулентности, алгоритм SIMPLE, 430 итераций. Структурированная расчетная сетка приведена на рисунке 24.

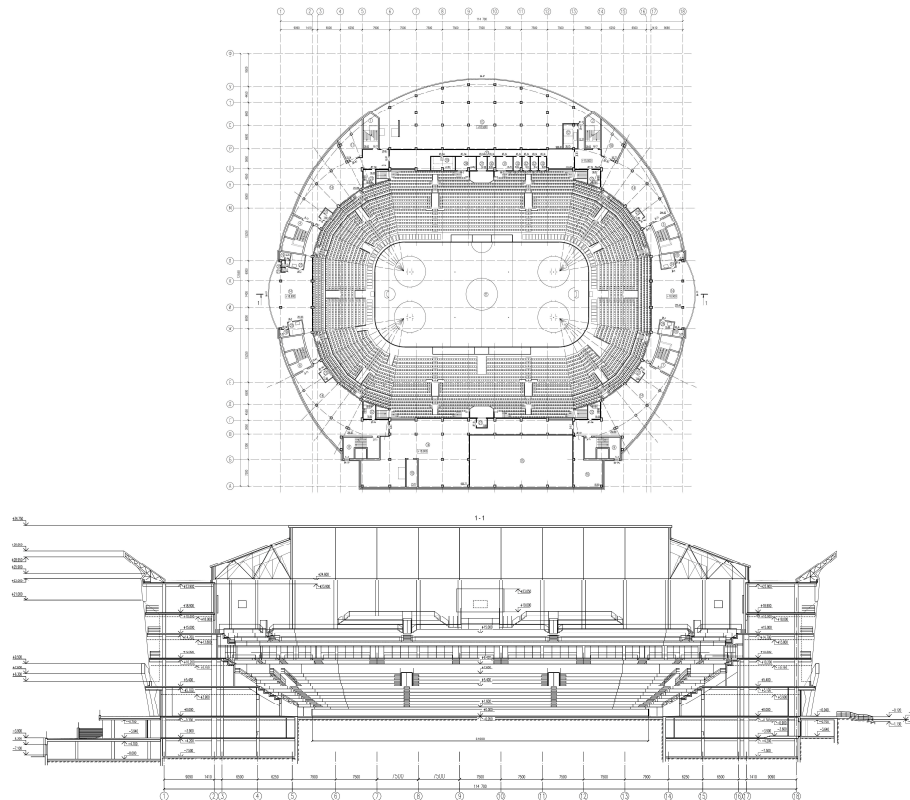


Рисунок 22. Универсальный зал на 7500 мест

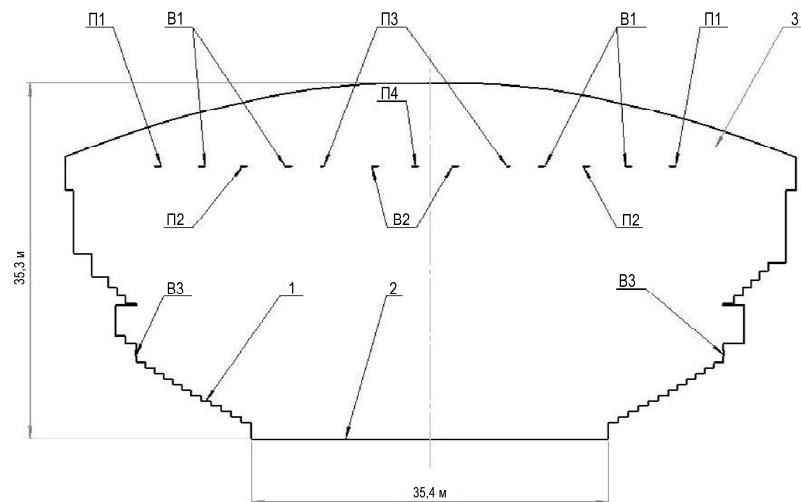


Рисунок 23. Поперечное сечение зала ледовой арены и граничные условия

1 — трибуны; 2 — ледовая площадка; 3 — подферменное пространство

Таблица 2. Граничные условия

Обозначение системы	Назначение системы	Характерный размер, мм	Проектные показатели			Скорректированные показатели		
			Расход, м ³ /ч	Температура, °С	Влажностодержание, г/(кг с.в.)	Расход, м ³ /ч	Температура, °С	Влажностодержание, г/(кг с.в.)
П1	Приток	630	4800х2	21	10	4800х2	21	10
П2	Приток	630	5000х2	21	10	3150х2	21	10

ПЗ	Приток	315	750x2	21	10	-	-	-
П4	Приток	630	5000	21	10	10200	14	4
В1	Вытяжка	630	3750x4	-	-	3750x4	-	-
В2	Вытяжка	630	3900x2	-	-	3900x2	-	-
В3	Вытяжка	550	1650x2	-	-	1650x2	-	-

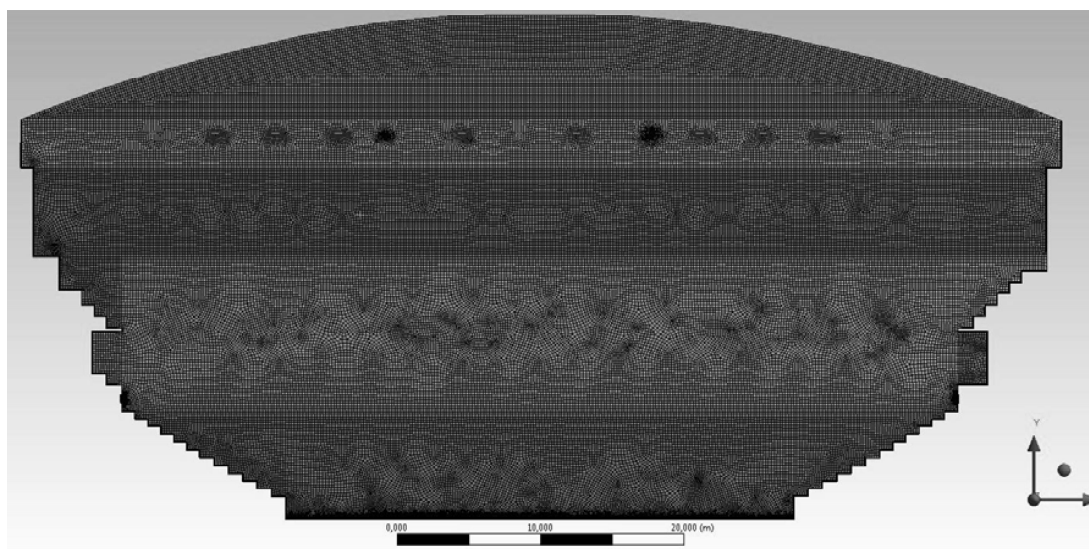


Рисунок 24. Структурированная расчетная сетка (81 111 элементов)

7. Результаты численного моделирования

Результаты численного моделирования полей скорости, температуры и относительной влажности воздуха в объеме помещения для проектного варианта представлены на рисунках 25 – 27. Для наглядности изображения результатов максимальное значение скорости ограничено значением 1 м/с, а относительной влажности - до 70%.

Анализ результатов расчета позволяет сделать следующие выводы:

- в зоне ледовой площадки образуется застойная зона;
- максимальная дальнбойность приточных струй из воздухораспределителей, установленных на высоте 27 м над уровнем ледовой площадки, составляет около 16 м;
- температура воздуха в зоне ледовой площадки и трибун превышает требуемые значения: 6 °С и 22 °С соответственно;
- значение относительной влажности над ледовой площадкой и в зоне трибун превышает максимально допустимую относительную влажность воздуха в помещении — 70%.

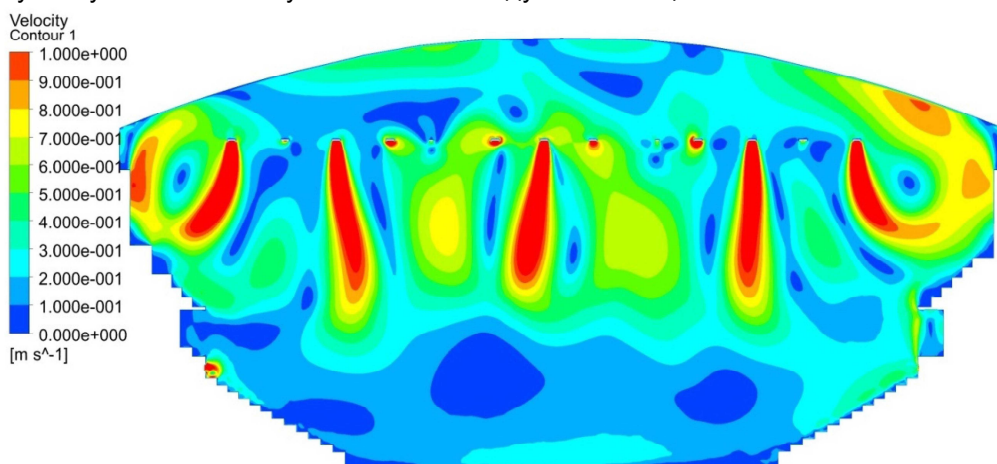


Рис. 25 Поле распределения скорости воздуха в проектном варианте организации воздухообмена

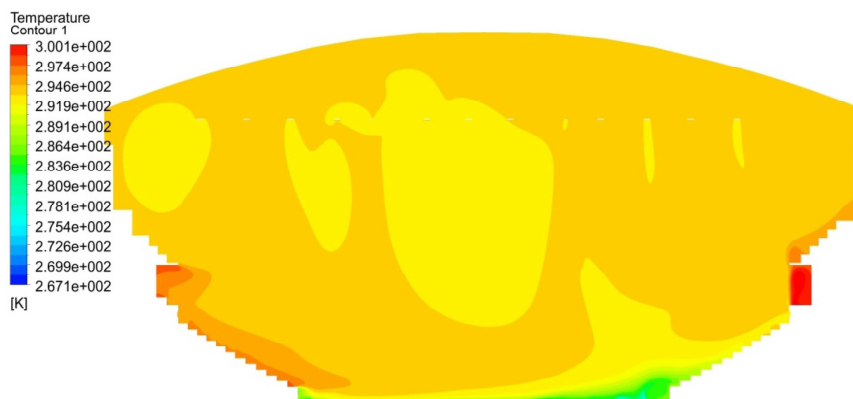


Рис. 26 Поле распределения температуры воздуха в проектном варианте организации воздухообмена

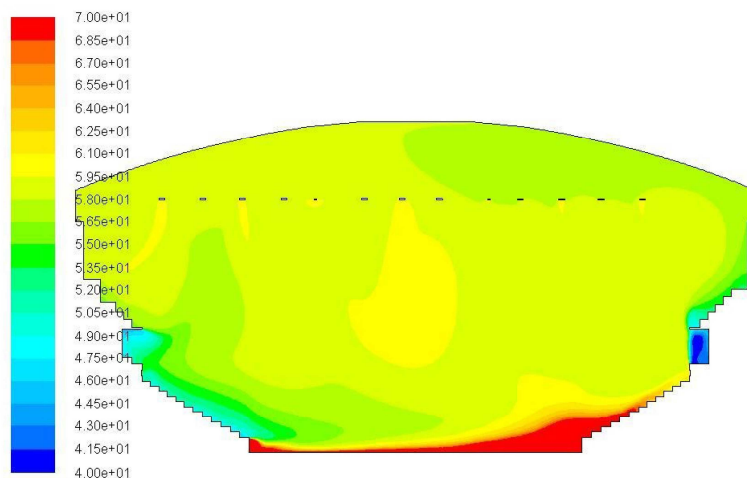


Рисунок 27. Поле распределения относительной влажности воздуха в проектном варианте организации воздухообмена

На основании выполненного обзора схем организации воздухообмена предложены следующие решения для устранения отмеченных недостатков:

- увеличить расход приточного воздуха в системе П4 для увеличения дальнобойности струи;
- исключить подачу воздуха в систему П5;
- уменьшить расход приточного воздуха в системе П2;
- понизить температуру и влагосодержание приточного воздуха, подаваемого в зону ледовой площадки.

Скорректированные показатели расходов воздуха по системам и параметры приточного воздуха приведены в таблице 2. Температура и влагосодержание приточного воздуха приняты исходя из технических возможностей оборудования, предусмотренного при разработке проекта. Результаты расчета отражены на рисунках 28 – 30

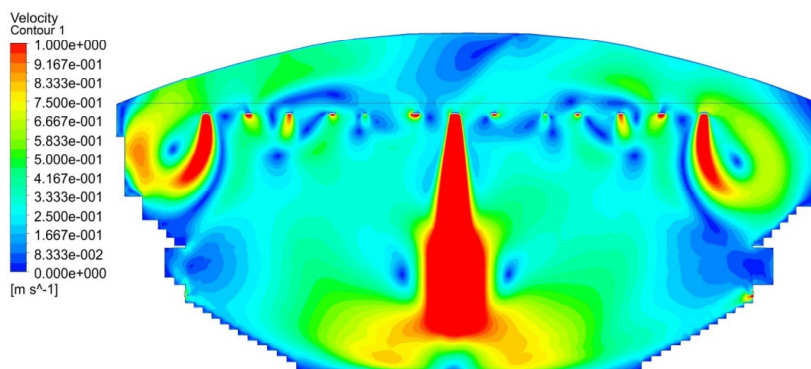


Рисунок 28. Поле распределения скорости воздуха в скорректированном варианте организации воздухообмена



Рисунок 29. Поле распределения температуры в скорректированном варианте организации воздухообмена

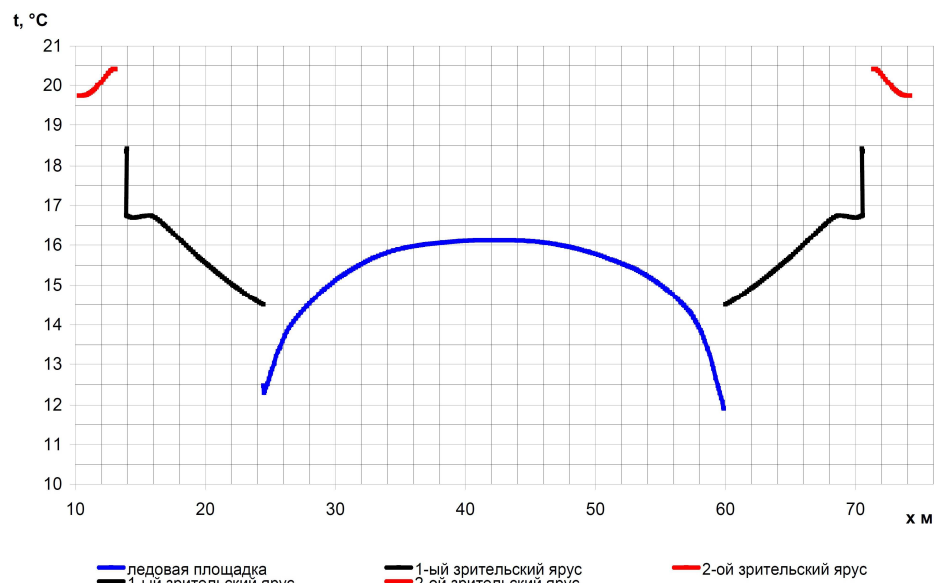


Рисунок 30. Температура воздуха на высоте 1,5 м от поверхности в зоне трибун и ледовой площадки в скорректированном варианте организации воздухообмена

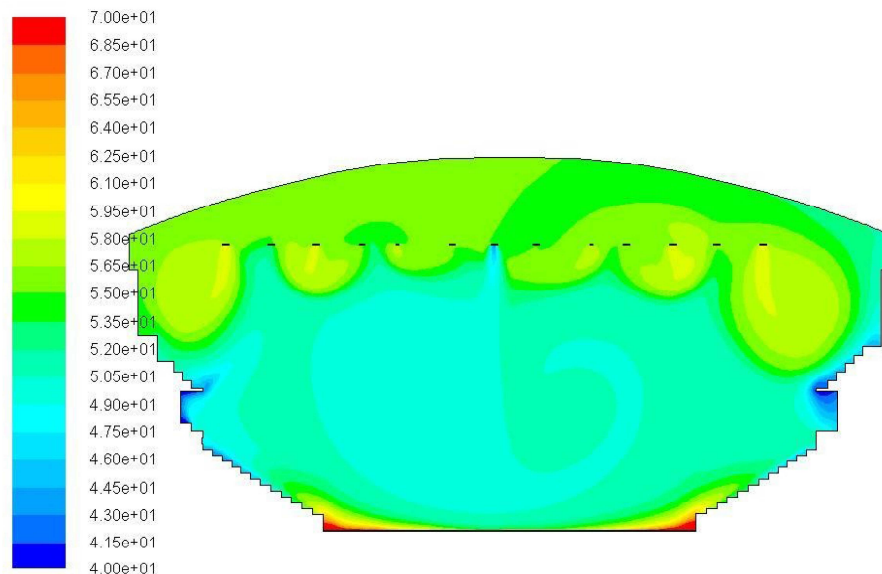


Рисунок 31. Поле распределения относительной влажности воздуха в скорректированном варианте организации воздухообмена

Внесение корректировок в проектную схему воздухораспределения универсального зала на 7500 мест позволило:

- избавиться от застойных зон в области ледового поля;
- получить значения температур воздуха в зоне ледовой площадки на высоте 1,5 м в диапазоне 12 — 16 °С, а в зоне трибун 14,5 — 20,5 °С;
- обеспечить относительную влажность на трибунах в районе оптимального значения — 55 %.

Применение методов математического моделирования для анализа воздухораспределения в объеме универсального зала с ледовой площадкой показало эффективность принятого варианта. Однако, температура воздуха над ледовой площадкой имеет значительную неравномерность и превышает рекомендуемые значения. Схема организации воздухообмена ледовой площадки должна быть пересмотрена.

8. Заключение

1. В помещениях ледовых площадок со зрителями рекомендуется предусматривать самостоятельные системы распределения воздуха для зоны размещения мест для зрителей и для зоны нахождения занимающихся (соревнующихся).

2. Для зоны размещения зрителей (трибун) оптимальной является вытесняющая вентиляция при схеме воздухообмена снизу-вверх (подача приточного воздуха через специальные воздухораспределители непосредственно в обслуживаемую зону и удаление воздуха из верхней зоны помещения). Допускается подавать воздух веерными или коническими струями сверху-вниз.

3. Для зоны занимающихся (ледовой площадки) подача воздуха выполняется компактными наклонными или вертикальными струями, направленными на площадку, из воздухораспределителей, установленных в верхней зоне помещения. Воздухораспределители должны оборудоваться устройствами для изменения направления выпуска приточной струи.

4. Схема распределения воздуха в помещениях ледовых площадок со зрителями должна приниматься на основании расчета возможных способов воздухораспределения с учетом объемно-планировочного и конструктивного решений.

5. Для проверки фактической схемы организации воздухообмена в помещениях и корректировки проектных решений рекомендуется применять методы математического моделирования.

6. Для исключения конденсации влаги на наружных ограждениях рекомендуется применить одно из мероприятий: окраска поверхностей алюминиевой краской, покрытие алюминиевой фольгой, установка теплового экрана между покрытием и поверхностью льда.

Литература

- [1]. СП 118.13330.2012. Общественные здания и сооружения. М.: Минрегион России, 2007. 76 с.
- [2]. СП 31-112-2007. Часть 3. Крытые ледовые арены. М.: Минрегион России, 2007. 156 с.
- [3]. СП 118.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. М.: Минрегион России, 2012. 76 с.
- [4]. Вишневский Е.П. Вентиляция и качество воздуха в крытых ледовых аренах // С.О.К., 2008. № 10. С. 34-39.
- [5]. Вишневский Е.П. Особенности и технические средства микроклиматической поддержки крытых ледовых катков // С.О.К., 2004. № 7. С. 82 – 87.
- [6]. Вишневский Е.П., Салин М.Ю. Осушение воздуха как метод защиты зданий от разрушения // С.О.К., 2008. № 9. С. 98–106.
- [7]. Панкратов В.В., Шилкин Н.В. Особенности климатизации ледовых арен // АВОК, 2009. № 8. С. 24-36.
- [8]. Пузанов А.В., Улыбин А.В. Методы обследования коррозионного состояния арматуры железобетонных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 7. С. 18-25.
- [9]. Улыбин А.В., Зубков С.В. Проблемы ценообразования на рынке обследования зданий // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 7. С. 53-56.
- [10]. Анисимов С. М., Денисихина Д.М., Полушкин В.И. Решение задачи турбулентного переноса импульса, тепла, примеси в объеме «чаши» Ледовой Арены // Вестник гражданских инженеров. 2012. № 5(34). С. 149-155.
- [11]. Денисихина Д., Колосницын А., Луканина М, Ледовые арены Сочи. Опыт математического моделирования // Здания высоких технологий, 2013. С. 66-71.
- [12]. Гримитлин А.М., Дацюк Т.А., Денисихина Д.М. Математическое моделирование в проектировании систем вентиляции и кондиционирования. СПб.: АВОК Северо-Запад, 2013. 192 с.
- [13]. Петриченко М.Р., Харьков Н.С. Энергетический баланс винтового потока в канале с непроницаемыми стенками // Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках. XVI Школа-семинар молодых ученых и специалистов под руководством академика РАН А.И. Леонтьева. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2007. С. 302-304.
- [14]. Петриченко М.Р., Харьков Н.С. Гидравлические потери на основном участке цилиндрического канала при малой интенсивности закрутки // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2008. № 63. С. 237-242.
- [15]. Петриченко М.Р., Харьков Н.С. Экспериментальное исследование пропускной способности цилиндрического канала при малой интенсивности закрутки // Вестник МАНЭБ. 2008. Т. 13. № 2. С. 129-133.
- [16]. Харьков Н.С., Петриченко М.Р., Чамкина М.В. Возможно ли восстановление напора в цилиндрическом закрученном потоке? // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 1. С. 12-16.
- [17]. Петриченко М.Р., Харьков Н.С. Экстремальные задачи переноса // Труды МГСУ. Системы обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях. М.: Изд-во МГСУ, 2014. С. 191-194.
- [18]. Петриченко М.Р., Харьков Н.С. Предельные задачи для уравнения Крокко в теории переноса // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. 2014. № 3 (201). С. 47-56.
- [19]. Korsun V., Vatin N., Korsun A., Nemova D. (2014). Physical-mechanical properties of the modified fine-grained concrete subjected to thermal effects up to 200 °C. Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 633-634. pp. 1013-1017.
- [20]. Petrichenko M., Vatin N., Nemova D., Kharkov N., Korsun A. Numerical modeling of thermogravitational convection in air gap of system of rear ventilated fasades (2014). Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 672-674. pp. 1903-1908.
- [21]. Рудаев Я.И., Китаева Д.А. О кинетических уравнениях модели динамической сверхпластичности // Вестник Самарского государственного университета. 2005. № 3 (37). С. 72-78.
- [22]. Пазылов Ш.Т., Рудаев Я.И. О приложениях методов нелинейной динамики в механике материалов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2007. № 15. С. 46-70.
- [23]. Ватин Н.И., Стрелец К.И., Китаин М.Б. Определение характеристик сварочных искр для расчета и их удаления в циклоне // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 5. С. 25-30.
- [24]. Стрелец К.И. О характеристиках пыли используемых при расчете эффективности пылеудаления в циклоне // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2010. № 110. С. 222-226.
- [25]. Стрелец К.И. Оценка эффективности осаждения частиц в циклонах // Вестник гражданских инженеров. 2010. № 4. С. 138-143.
- [26]. Ледовые арены. Под общей редакцией Жестяникова Л.В., Загайнова М.В. М., СПб: Автономная некоммерческая организация «Организационный комитет XXII Олимпийских зимних игр и XI Паралимпийских зимних игр 2014 года в городе Сочи», 2011. 280 с.
- [27]. Кокорин О.Я. Современные системы кондиционирования воздуха. М.: Издательство физико-математической литературы, 2003. 272 с.
- [28]. Кокорин О.Я., Товарас Н.В. Инженерные системы помещений с искусственным льдом или снегом. М.: КУРС, ИНФРА-М, 2014. 240 с.
- [29]. Яковлев Г.П., Горелов В.Н. Технология спортивного льда и олимпийские рекорды // Холодильный бизнес. 2014. № 6. С. 10 – 16.

- [30]. Яковлев Г.П., Горелов В.Н. Особенности работы технологической вентиляции помещения арены современного крытого катка // Холодильный бизнес. 2015. № 1. С. 6 – 12.
- [31]. Тарабанов М.Г. Кондиционирование воздуха. М.: АВОК-ПРЕСС, 2015. 212 с.
- [32]. Žák Antonín, Šikula Ondřej. Air Distribution System for Elimination of Internal Surface Condensation on the Roofs of Ice Stadiums. Conference: Proceedings of CLIMA 2013, URL: <http://www.researchgate.net/publication/259717827> (дата обращения: 28.07.2015).
- [33]. Žák A., Šikula O., Trcala M. (2013). Analysis of Local Moisture Increase of Timber Constructions on Ice Arena Roof. Advanced Materials Research. 2013. Vol. 649, pp. 291-294.
- [34]. Русаков С.В. К расчету тепловых и влажностных нагрузок ледовых катков. Нагрузка от радиационного переноса теплоты // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование» № 1, 2014. - № 1. [Электронный ресурс]: <http://refrigeration.ihtb.ifmo.ru/file/article/8640.pdf> (дата обращения 01.08.2015).
- [35]. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 1. Под ред. Н.Н.Павлова и Ю.И. Шиллера. М.: Стройиздат, 1992. 319 с.
- [36]. Кокорин О.Я., Товарас Н.В., Иньков А.П. Системы кондиционирования воздуха в помещениях искусственных катков с перекрытиями из многослойных клееных деревянных ферм // Холодильная техника. 2007. № 3. С. 4-8.
- [37]. Энергосберегающие технологии при климатизации ледовых дворцов. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.sportkatok.ru/files/promo/1den%20Kongressa/Klimat%20ledovih%20dvorcov%20-%20Voroncov%20-%20Menegra%20MOS.pdf> (дата обращения: 15.08.2015).
- [38]. Микроклимат конькобежного центра «Адлер-Арена». [Электронный ресурс]. URL: <http://termocom.ru/library/articles/mikroklimat-konkobezhnogo-tsentra-adler-arena/> (дата обращения: 01.08.2015).
- [39]. Мелькумов В.Н., Чуйкин, С.В. Организация воздухораспределения крытых многофункциональных ледовых арен // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2012. № 3(27). С. 29-36.
- [40]. Мелькумов В.Н., Чуйкин С. В. Современные способы создания микроклимата крытых ледовых арен и катков // Инженерные системы и сооружения. 2012. № 2(7). С. 68-73.
- [41]. Савкина Н. Конькобежные арены: Проектирование и модернизация инженерных систем // Сооружения и индустрия спорта. Sports Facilities. 2013. № 03(19). С. 77-79.
- [42]. Малова Н. Д. Системы вентиляции и кондиционирования. Рекомендации по проектированию для предприятий пищевой промышленности. М.: ТермоКул, 2005. 304 с.
- [43]. Текстильные воздуховоды и воздухораспределители. Технический каталог. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: http://www.prihoda.com/userfiles/dokumenty/technical_data_ru.pdf (дата обращения: 15.08.2015).
- [44]. Kravaev P., Seide G., Gries T., Stolyarov O. (2013). A method for investigating blending quality of commingled yarns. Textile Research Journal. 2013. V. 83. No 2. pp. 122-129.
- [45]. Столяров О.Н. Разработка технологии изготовления и исследование свойств термопластичных композиционных материалов на основе гибридных стеклопропиленовых нитей // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2010. Т. 7. № 1. С. 53-55.
- [46]. Печурица А., Щербенко В., Кривошеев В., Осипова А. Лед «Коломны»: Уникальные технологические разработки специалистов центра // Сооружения и индустрия спорта. Sports Facilities. 2013. № 03(19). С. 64-75.
- [47]. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.alau.info/data/panaram/in/> (дата обращения: 15.08.2015).
- [48]. Thialf speed skating rink in Heerenveen [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%84#/media/File:Thialf_stadion_2008.jpg (дата обращения: 15.08.2015).
- [49]. Дворец зимнего спорта «Айсберг» [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.sc-os.ru/common/upload/iceberg.pdf> (дата обращения: 15.08.2015).
- [50]. [Электронный ресурс]. URL: <http://sochi.yuga.ru/media/d/d/4/dvolimpp007.jpg> (дата обращения: 15.08.2015).
- [51]. Fiedler E. Effiziente Schichtluftung Klimatisierung von Eissporthallen [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: http://www.krantz.de/de/Downloads/Komponenten/Ver%C3%B6ffentlichungen/Documents/2007_10_tab_s84-87_effiziente_schichtlueftung.pdf (дата обращения: 15.08.2015).
- [52]. Гримитлин М.И. Распределение воздуха в помещении. СПб.: Издательство «Авок Северо-Запад», 2004. 320 с.

Air distribution in spectator ice arenas

V.A. Pukhal¹, D.A. Yustus²

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2-nd Krasnoarmeiskaya St. 4, 190005 St. Petersburg, Russia

ARTICLE INFO	Article history	Keywords
scientific article	Received 24 August 2015	ice arenas; skating rinks; air conditioning; air distribution system designs; air distribution;
doi:		

ABSTRACT

The design of air distribution systems in ice arenas (skating rinks and others) largely determines the arena's ice condition and the microclimate near ice surface and in spectator seating area. The article reviews requirements for parameters of internal air of arena, general approaches for air conditioning system designs and air replacement and distribution system designs. It is determined that reliable prediction of arena's internal air parameters, analysis and optimization of air distribution designs is impossible without using numerical simulation of temperature, velocity and humidity fields in premises volume. The verification of design approaches for air distribution systems of all-purpose arena with 7500 seats capacity is performed by air's velocity, temperature and relative humidity simulation in premises volume in a warm season. The adjustments introduced in air distribution system design have allowed eliminating stagnation zones near ice surface, and obtaining spectator seating area's air temperature values of 14,5 — 20,5 °C and relative humidity value near optimal value of 55 %.

¹ Corresponding author:

+7(921)7414201, pva1111@rambler.ru (Viktor Alekseevich Pukhal, PhD, Assistant professor)

²

+7(812)575-05-31, dimitryustys@mail.ru (Dmitry Aleksandrovich Yustus, Graduate student)

References

- [1]. SP 118.13330.2012. *Obshchestvennyye zdaniya i sooruzheniya*. M.: Minregion Rossii, 2007. 76 s.
- [2]. SP 31-112-2007. *Chast 3. Krytye ledovyye areny*. M.: Minregion Rossii, 2007. 156 s.
- [3]. SP 118.13330.2012. *Otopleniye, ventilyatsiya i konditsionirovaniye vozdukha*. M.: Minregion Rossii, 2012. 76 s.
- [4]. Vishnevskiy Ye.P. Ventilyatsiya i kachestvo vozdukha v krytykh ledovykh arenakh // S.O.K., 2008. № 10. С. 34-39.
- [5]. Vishnevskiy Ye.P. Osobennosti i tekhnicheskiye sredstva mikroklimaticheskoy podderzhki krytykh ledovykh katkov // S.O.K.. 2004. № 7. S. 82 – 87.
- [6]. Vishnevskiy Ye.P., Salin M.Yu. Osusheniye vozdukha kak metod zashchity zdaniy ot razrusheniya // S.O.K.. 2008. № 9. S. 98–106.
- [7]. Pankratov V.V., Shilkin N.V. Osobennosti klimatizatsii ledovykh aren // AVOK, 2009. № 8. S. 24-36.
- [8]. Puzanov A.V., Ulybin A.V. Metody obsledovaniya korrozionnogo sostoyaniya armatury zhelezobetonnykh konstruksiy // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2011. № 7. S. 18-25.
- [9]. Ulybin A.V., Zubkov S.V. Problemy tsenoobrazovaniya na rynke obsledovaniya zdaniy // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2010. № 7. S. 53-56.
- [10]. Anisimov S. M., Denisikhina D.M., Polushkin V.I. Resheniye zadachi turbulentnogo perenosa impulsa, tepla, primesi v obyeme «chashi» Ledovoy Areny // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2012. № 5(34). S. 149-155.
- [11]. Denisikhina D., Kolosnitsyn A., Lukanina M. Ledovyye areny Sochi. Opyt matematicheskogo modelirovaniya // Zdaniya vysokikh tekhnologiy, 2013. S. 66-71.
- [12]. Grititlin A.M., Datsyuk T.A., Denisikhina D.M. Matematicheskoye modelirovaniye v proyektirovanii sistem ventilyatsii i konditsionirovaniya. SPb.: AVOK Severo-Zapad, 2013. 192 s.
- [13]. Petrichenko M.R., Kharkov N.S. Energeticheskyy balans vintovogo potoka v kanale s nepronytsayemyimi stenkami // Problemy gazodinamiki i teplomassoobmena v energeticheskikh ustanovkakh. XVI Shkola-seminar molodykh uchenykh i spetsialistov pod rukovodstvom akademika RAN A.I. Leontyeva. SPb.: Izd-vo SPbGPU, 2007. S. 302-304.
- [14]. Petrichenko M.R., Kharkov N.S. Gidravlicheskiye poteri na osnovnom uchastke tsilindricheskogo kanala pri maloy intensivnosti zakrutki // Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. 2008. № 63. S. 237-242.
- [15]. Petrichenko M.R., Kharkov N.S. Eksperimentalnoye issledovaniye propusknoy sposobnosti tsilindricheskogo kanala pri maloy intensivnosti zakrutki // Vestnik MANEB. 2008. T. 13. № 2. S. 129-133.
- [16]. Kharkov N.S., Petrichenko M.R., Chamkina M.V. Vozmozhno li vosstanovleniye napora v tsilindricheskom zakruchennom potoke? // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2011. № 1. S. 12-16.
- [17]. Petrichenko M.R., Kharkov N.S. Ekstremalnyye zadachi perenosa // Trudy MGSU. Sistemy obespecheniya mikroklimata i energosberezheniya v zdaniyakh. M.: Izd-vo MGSU, 2014. S. 191-194.
- [18]. Petrichenko M.R., Kharkov N.S. Predelnyye zadachi dlya uravneniya Krokko v teorii perenosa // Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. Fiziko-matematicheskkiye nauki. 2014. № 3 (201). S. 47-56.
- [19]. Korsun V., Vatin N., Korsun A., Nemova D. (2014). Physical-mechanical properties of the modified fine-grained concrete subjected to thermal effects up to 200 °C. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 633-634. pp. 1013-1017.
- [20]. Petrichenko M., Vatin N., Nemova D., Kharkov N., Korsun A. Numerical modeling of thermogravitational convection in air gap of system of rear ventilated fasades (2014). *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 672-674. pp. 1903-1908.
- [21]. Rudayev Ya.I., Kitayeva D.A. O kineticheskikh uravneniyakh modeli dinamicheskoy sverkhplastichnosti // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta. 2005. № 3 (37). S. 72-78.
- [22]. Pazylov Sh.T., Rudayev Ya.I. O prilozheniyakh metodov nelineynoy dinamiki v mekhanike materialov // Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mekhanika. 2007. № 15. S. 46-70.
- [23]. Vatin N.I., Strelets K.I., Kitain M.B. Opredeleniye kharakteristik svarochnykh iskr dlya rascheta i ikh udaleniya v tsiklone // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2011. № 5. S. 25-30.
- [24]. Strelets K.I. O kharakteristikakh pyli ispolzuyemykh pri raschete effektivnosti pyleudaleniya v tsiklone // Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. 2010. № 110. S. 222-226.
- [25]. Strelets K.I. Otsenka effektivnosti osazhdeniya chastits v tsiklonakh // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2010. № 4. S. 138-143.
- [26]. *Ledovyye areny. Pod obshchey redaktsiyey Zhestyannikova L.V., Zagaynova M.V. M.*, SPb: Avtonomnaya nekommercheskaya organizatsiya «Organizatsionnyy komitet XXII Olimpiyskikh zimnikh igr i XI Paralimpiyskikh zimnikh igr 2014 goda v gorode Sochi», 2011. 280 s.
- [27]. Kokorin O.Ya. *Sovremennyye sistemy konditsionirovaniya vozdukha*. M.: Izdatel'stvo fiziko-matematicheskoy literatury, 2003. 272 s.
- [28]. Kokorin O.Ya., Tovaras N.V. *Inzhenernyye sistemy pomeshcheniy s iskusstvennym ldom ili snegom*. M.: KURS, INFRA-M, 2014. 240 s.
- [29]. Yakovlev G.P., Gorelov V.N. Tekhnologiya sportivnogo lda i olimpiyskiye rekordy // Kholodilnyy biznes. 2014. № 6. S. 10 – 16.
- [30]. Yakovlev G.P., Gorelov V.N. Osobennosti raboty tekhnologicheskoy ventilyatsii pomeshcheniya areny sovremennogo krytogo katka // Kholodilnyy biznes. 2015. № 1. S. 6 – 12.

- [31]. Tarabanov M.G. *Konditsionirovaniye vozdukha*. M.: AVOK-PRESS, 2015. 212 s.
- [32]. Žák Antonín, Šikula Ondřej. *Air Distribution System for Elimination of Internal Surface Condensation on the Roofs of Ice Stadiums*. Conference: Proceedings of CLIMA 2013, URL: <http://www.researchgate.net/publication/259717827> (data obrashcheniya: 28.07.2015).
- [33]. Žák A., Šikula O., Trcala M. (2013). Analysis of Local Moisture Increase of Timber Constructions on Ice Arena Roof. *Advanced Materials Research*. 2013. Vol. 649, pp. 291-294.
- [34]. Rusakov S.V. K raschetu teplovykh i vlazhnostnykh nagruzok ledovykh katkov. Nagruzka ot radiatsionnogo perenosa teploty // *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya «Kholodilnaya tekhnika i konditsionirovaniye»* № 1, 2014. - № 1. [Elektronnyy resurs]: <http://refrigeration.ihbt.ifmo.ru/file/article/8640.pdf> (data obrashcheniya 01.08.2015).
- [35]. *Vnutrenniye sanitarno-tekhnicheskiye ustroystva*. Ch. 3. Ventilyatsiya i konditsionirovaniye vozdukha. Kn. 1. Pod red. N.N.Pavlova i Yu.I. Shillera. M.: Stroyizdat, 1992. 319 s.
- [36]. Kokorin O.Ya., Tovaras N.V., Inkov A.P. Sistemy konditsionirovaniya vozdukha v pomeshcheniyakh iskusstvennykh katkov s perekrytiyami iz mnogosloynnykh kleyenyykh derevyannykh ferm // *Kholodilnaya tekhnika*. 2007. № 3. S. 4-8.
- [37]. *Energosberegayushchiye tekhnologii pri klimatizatsii ledovykh dvortsov*. [Elektronnyy resurs]. Sistem. trebovaniya: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.sport-katok.ru/files/promo/1den%20Kongressa/Klimat%20ledovih%20dvorcov%20-%20Voroncov%20-%20Menegra%20MOS.pdf> (data obrashcheniya: 15.08.2015).
- [38]. *Mikroklimat konkobezhnogo tsentra «Adler-Arena»*. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://termocom.ru/library/articles/mikroklimat-konkobezhnogo-tsentra-adler-arena/> (data obrashcheniya: 01.08.2015).
- [39]. Melkumov V.N., Chuykin, S.V. Organizatsiya vozdukhoraspredeleniya krytykh mnogofunktsionalnykh ledovykh aren // *Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2012. № 3(27). S. 29-36.
- [40]. Melkumov V.N., Chuykin S. V. Sovremennyye sposoby sozdaniya mikroklimata krytykh ledovykh aren i katkov // *Inzhenernyye sistemy i sooruzheniya*. 2012. № 2(7). S. 68-73.
- [41]. Savkina N. Konkobezhnyye areny: Proyektirovaniye i modernizatsiya inzhenernykh sistem // *Sooruzheniya i industriya sporta. Sports Facilities*. 2013. № 03(19). S. 77-79.
- [42]. Malova N. D. Sistemy ventilyatsii i konditsionirovaniya. Rekomendatsii po proyektirovaniyu dlya predpriyatii pishchevoy promyshlennosti. M.: Termokul, 2005. 304 s.
- [43]. *Tekstilnyye vozdukhovody i vozdukhoraspredeliteli. Tekhnicheskiy katalog*. [Elektronnyy resurs]. Sistem. trebovaniya: AdobeAcrobatReader. URL: http://www.prihoda.com/userfiles/dokumenty/technical_data_ru.pdf (data obrashcheniya: 15.08.2015).
- [44]. Kravaev P., Seide G., Gries T., Stolyarov O. (2013). A method for investigating blending quality of commingled yarns. *Textile Research Journal*. 2013. V. 83. No 2. pp. 122-129.
- [45]. Stolyarov O.N. Razrabotka tekhnologii izgotovleniya i issledovaniye svoystv termoplastichnykh kompozitsionnykh materialov na osnove gibridnykh steklopropilenovykh nitey // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti*. 2010. T. 7. № 1. S. 53-55.
- [46]. Pechuritsa A., Shcherbenko V., Krivosheyev V., Osipova A. Led «Kolomny»: Unikalnyye tekhnologicheskiye razrabotki spetsialistov tsentra // *Sooruzheniya i industriya sporta. Sports Facilities*. 2013. № 03(19). S. 64-75.
- [47]. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.alau.info/data/panaram/in/> (data obrashcheniya: 15.08.2015).
- [48]. Thialf speed skating rink in Heerenveen [Elektronnyy resurs]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%84#/media/File:Thialf_stadion_2008.jpg (data obrashcheniya: 15.08.2015).
- [49]. Dvoretz zimnego sporta «Aysberg» [Elektronnyy resurs]. Sistem. trebovaniya: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.sc-os.ru/common/upload/iceberg.pdf> (data obrashcheniya: 15.08.2015).
- [50]. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://sochi.yuga.ru/media/d/d/4/dvolimpp007.jpg> (data obrashcheniya: 15.08.2015).
- [51]. Fiedler E. Effiziente Schichtlftung Klimatisierung von Eissporthallen [Elektronnyy resurs]. Sistem. trebovaniya: AdobeAcrobatReader. URL: http://www.krantz.de/de/Downloads/Komponenten/Ver%C3%B6ffentlichungen/Documents/2007_10_tab_s84-87_effiziente_schichtlueftung.pdf (data obrashcheniya: 15.08.2015).
- [52]. Gritil'in M.I. *Raspredeleniye vozdukha v pomeshchenii*. SPb.: Izdatel'stvo «Avok Severo-Zapad», 2004. 320 s.

Пухкал В.А., Юстус Д.А. Воздухораспределение в помещениях ледовых площадок со зрителями // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №12 (39). С. 7-31.

Pukhal V.A., Yustus D.A. Air distribution in spectator ice arenas. Construction of Unique Buildings and Structures, 2015, 12 (39), Pp. 7-31. (rus)