

*Макеева Х.В.,  
студент магистратуры  
2 курс, Институт экономики, управления  
и информационных систем в строительстве  
Национальный исследовательский Московский  
государственный строительный университет  
Россия, г. Москва*

## **МИКРОКЛИМАТ ЛЕДОВЫХ АРЕН**

***Аннотация:** В статье рассматриваются особенности температурно-влажностного режима крытых ледовых арен, влияние влажности воздуха, как на саму ледовую площадку, так и на зону размещения зрителей. Рассматриваются проблемы, возникающие из-за высокой влажности, такие как образование тумана, выпадение конденсата на ограждающих конструкциях, а также пути их решения. Рассматривается целесообразность использования CFD-моделирования.*

***Ключевые слова:** крытая ледовая арена, проектирование инженерных систем, поддержание оптимальной влажности воздуха, кондиционирование воздуха ледовых арен, CFD-моделирование.*

***Annotation:** The article discusses the features of the temperature and humidity regime of indoor ice arenas, the effect of air humidity, both on the ice rink itself and on the area where the spectators are located. The problems arising from high humidity, such as the formation of fog, condensation on the enclosing structures, as well as ways to solve them, are considered. Considered the feasibility of using CFD-modeling.*

***Key words:** indoor ice arenas, design of engineering systems, maintaining optimum air humidity, air conditioning ice arenas, CFD-modeling.*

При проектировании инженерных систем крытых ледовых арен и дальнейшей эксплуатации необходимо поддерживать температурно-влажностный режим и качество льда. Задача состоит в том, чтобы обеспечить требуемые параметры микроклимата на ледовой площадке и в зоне зрительских трибун, которые в свою очередь отличаются друг от друга. Для того, чтобы поддерживать на протяжении года соответствующую температуру внутреннего воздуха на ледовой площадке и в зоне размещения зрителей следует одновременно учитывать большое количество параметров, ведь температура в этих зонах отличается.

Например, температура поверхности льда в зависимости от вида спорта составляет: для хоккея с шайбой  $-5^{\circ}\text{C}$ , для фигурного катания  $-4^{\circ}\text{C}$ , а для шорт-трека  $-7^{\circ}\text{C}$ . Температура воздуха на отметке 1,5 м над массивом льда должна обеспечиваться от  $+6^{\circ}\text{C}$  до  $+14^{\circ}\text{C}$ . В то время как температура на трибунах  $+10^{\circ}\text{C}$  до  $+15^{\circ}\text{C}$ . В разных функциональных зонах помещения ледовой арены, в зависимости от количества людей, тепловыделения и влага напрямую влияют на расчетные условия.

### **Проблемы, возникающие в ходе эксплуатации ледовых арен**

Во-первых, на поверхности металлоконструкций возможно образование конденсата. В результате чего происходит коррозия при относительной влажности выше 60%, а также ухудшается окраска конструкций.

Во-вторых, конденсат на ледовой поверхности ухудшает его качество, поскольку увеличивается толщина льда.

В-третьих, конденсат на стеклянных барьерах препятствует болельщикам следить за игрой.

В-четвертых, образование тумана ухудшает видимость для спортсменов и зрителей.

Под воздействием радиационного теплообмена строительные конструкции могут охладиться таким образом, что температура покрытия будет ниже температуры точки росы. А это приводит к возникновению конденсата.

При разработке систем вентиляции и кондиционирования воздуха стоит задача: устранить образование конденсата на поверхностях ограждающих конструкций.

Для того, чтобы предотвратить конденсацию влаги на строительных конструкциях ледовой арены при температуре поверхности ледяного массива -  $3^{\circ}\text{C}$ , необходимо температуру точки росы поддерживать в диапазоне от  $+4^{\circ}\text{C}$  до  $+5^{\circ}\text{C}$ . Также стоит учесть следующий нюанс: если в ледовой арене находятся зрители, то температура воздуха составляет до  $+18^{\circ}\text{C}$ , а если зрители отсутствуют, то до  $+10^{\circ}\text{C}$ . На поверхности ограждающих конструкций температура должна быть выше температуры точки росы на  $0,5-1^{\circ}\text{C}$ .

Существует несколько решений для предотвращения данной проблемы.

Во-первых, можно экранировать защитным слоем алюминиевой краски, полимерной пленки или фольги с целью уменьшения радиационного теплообмена.

Во-вторых, установка подвесного потолка - теплового экрана между поверхностью льда и наружными конструкциями.

В-третьих, тепловентиляция верхней зоны помещения, то есть специально продуваем данную зону подогретым воздухом или же осушаем.

Для отделки кровли ледовой арены, учитывая теплофизические процессы, применяют изоляционный материал с фольгированной поверхностью с коэффициентом поглощения 0,1, так как является одним из наиболее эффективных. Также к таким материалам стоит отнести и оцинкованную сталь, у которой коэффициент поглощения равен 0,3.

В качестве отделки ограждающих конструкций внутри ледовой арены используют темные цвета. Но необходимо учитывать увеличение лучистого теплообмена от нагретых внутренних поверхностей к поверхности льда. Поскольку это приводит к увеличению холодильной мощности, которая затрачивается на наморозку. В тот период, когда ледовая арена на время прекращает свою деятельность, следует повысить температуру ледового поля. Это также необходимо учитывать инженерам при проектировании инженерных

систем и их автоматизации. Благодаря повышению температуры поверхности ледяного массива на один градус уже снижает энергетические затраты на систему холодоснабжения в среднем на 2-3%. А это напрямую связано с тем, что происходит уменьшение радиационного излучения и конвективного теплообмена от конструкций, находящихся рядом, поверхности льда и воздуха.

Для того, чтобы обеспечить различный микроклимат в зонах нахождения спортсменов и зрителей, а также для защиты опорных конструкций от конденсации, в помещении устанавливаются три различные системы кондиционирования:

1. Система климат-контроля ледовой площадки (приточно-вытяжная вентиляция).

Задача этой системы – поддержание комфортного для спортсменов климата. Вдоль длинных сторон ледовой площадки сверху устанавливаются приточные воздуховоды, воздух через них подается со скоростью не более 0,25 м/с. Воздух подается сверху через диффузоры, и затем удаляется через вентиляционную систему.

2. Система климат-контроля в области зрительских трибун (вытесняющая вентиляция снизу-вверх).

Приточный воздух подается через распределители, расположенные под зрительскими сиденьями, и затем удаляется через вентиляционные отверстия, расположенные под потолком зала. Расчетная разница температур подаваемого воздуха и воздуха в зоне обслуживания в среднем составляет 2°C. Объем приточного воздуха по санитарным нормам составляет 20 м<sup>3</sup> в час на одного человека. При этом происходит вытеснение водяных паров, тепла и углекислого газа, выделяемых людьми.

3. Система климат-контроля в верхней части помещения (воздушно-отопительные, осушительные агрегаты).

Задача этой системы – не допустить образования конденсата на конструкциях здания, поддерживая температуру воздушных масс в верхней зоне выше точки росы. Отопительные устройства включаются при соответствующих

сигналах от температурных датчиков, измеряющих температуру конструкций. Другой способ избежать конденсации – это уменьшить влажность, подавая сухой воздух в верхнюю часть помещения. Осушение воздуха осуществляется методом абсорбции и другими способами.

### **Методы решения для получения оптимальных параметров микроклимата и использование численных методов расчета термодинамического состояния воздушной среды**

При проектировании ледовых арен целесообразно использовать численные методы моделирования гидродинамических процессов (CFD-моделирование) с последующим анализом полученных результатов.

В помещениях с массовым пребыванием людей формируются воздушные конвективные потоки за счет тепло- и влаговыделений от зрителей. Эти потоки могут создавать дискомфортные параметры микроклимата для зрителей и спортсменов. Например, неизотермичность воздушных струй и влияние диоксида углерода, выделяемого при дыхании, как вещества с более высокой молярной массой, могут формировать на нижних ярусах трибун зоны с превышенным уровнем концентраций CO<sub>2</sub>, а также с повышенной подвижностью воздушных масс. Определение критичных для микроклимата условий на этапе проектирования по результату анализа CFD-модели позволяет своевременно принять решения как в части инженерных систем, так и в архитектурно-планировочных решениях, предусматривая дополнительные шахты и воздухораспределители в нижней части трибун. Благодаря анализу CFD-модели возможно определить наиболее оптимальные соотношения температур и расходов воздуха для арен с массовым пребыванием людей. Подобное моделирование позволяет иногда решать вопросы, кажущиеся на первый взгляд неопределяемыми. А выбранные на его основе проектные решения успешно повышают энергоэффективность систем. Классические схемы воздухораспределения снизу-вверх или сверху-вверх могут иметь существенные отличия по расходам приточного и вытяжного воздуха для рассматриваемого помещения при одинаковых целевых показателях требуемой температуры,

относительной влажности и концентрации диоксида углерода. Выбор схемы воздухораспределения напрямую влияет на расходы воздухообмена в помещениях с массовым пребыванием людей, часто превышая показатели санитарных норм.

Архитектурные решения ледовых арен должны сочетать в себе современную форму, яркую индивидуальность и прогрессивные энергоэффективные инженерные системы. Только в таком сочетании здание будет соответствовать высоким требованиям конечного потребителя и владельца на протяжении всего жизненного цикла объекта. Для сложных спортивных сооружений применение CFD-моделирования необходимо и экономически оправдано, так как ведет к оптимизации финансовых затрат как на стадии строительства, так и в период эксплуатации объекта. Кроме того, данная работа позволяет своевременно оценивать правильность принятых решений и, при необходимости, вносить требуемые изменения в проект.

### **ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ**

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. Гримитлин А.М., Дацюк Т.А., Денисихина Д.М. Математическое моделирование в проектировании систем вентиляции и кондиционирования. СПб.: АВОК Северо-Запад, 2013. 192 с.