

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2024-23-3-225-234>

УДК 697.24:725.85/.86:796.9

Локальная система отопления для повышения комфорта зрителей на трибунах крытого ледового катка

Канд. техн. наук Д. Г. Ливанский¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2024
Belarusian National Technical University, 2024

Реферат. В данной статье рассматриваются примеры применения локальных систем отопления, позволяющие улучшить условия комфорта зрителей, необходимые для полноценного восприятия мероприятий на крытом ледовом катке. Крытые ледовые катки являются популярными местами для проведения спортивных соревнований, концертов и других развлекательных мероприятий. Однако зрители на трибунах крытых ледовых катков во время хоккейного матча или выступления фигуристов часто сталкиваются с проблемой низкой температуры, которая, с одной стороны, необходима для поддержания высокого качества льда, с другой – может быть дискомфортной при длительном пребывании зрителей. В статье рассматриваются особенности процессов тепло- и массообмена на крытых ледовых катках, включающие конвективный и радиационный теплообмен с ледовой поверхностью и влияние конфигурации систем вентиляции на воздушную среду внутри арены. Исследование акцентирует внимание на необходимости математического моделирования для более глубокого понимания физических процессов, происходящих внутри крытых ледовых площадок. Для изучения работы локальных систем отопления используется численное решение системы дифференциальных уравнений, описывающих процессы тепло- и массообмена в воздушном пространстве крытого ледового катка. В статье рассмотрено несколько технических решений организации локальных систем отопления. Выделены преимущества и недостатки приведенных технических решений. Комплексный анализ работы локальных систем отопления на крытом ледовом катке является важным вкладом в понимание физических процессов и параметров, влияющих на микроклимат внутри крытых ледовых катков, а также может служить основой для оптимизации таких систем с целью обеспечения комфортных условий для зрителей.

Ключевые слова: крытый ледовый каток, теплообмен, локальная система отопления

Для цитирования: Ливанский, Д. Г. Локальная система отопления для повышения комфорта зрителей на трибунах крытого ледового катка / Д. Г. Ливанский // *Наука и техника*. 2024. Т. 23, № 3. С. 225–234. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2024-23-3-225-234>

Local Heating System to Improve Comfort of Spectators in the Stands of Indoor Ice Skating Rink

D. G. Livanskiy¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. This paper discusses examples of the use of local heating systems that improve the comfort conditions of spectators, necessary for a full-fledged perception of events at an indoor ice rink. Indoor ice rinks are popular venues for sporting events, concerts and other entertainment events. However, spectators in the stands of indoor ice rinks during a hockey match or a performance of figure skaters often face the problem of low temperature, which, on the one hand, is necessary to maintain high ice quality, but on the other hand, can be uncomfortable with prolonged stay of the audience. The paper examines the features of heat and mass transfer processes on indoor ice rinks, including convective and radiation heat exchange with

Адрес для переписки

Ливанский Дмитрий Геннадьевич
Белорусский национальный технический университет
пр. Независимости, 67/18,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 292-30-13
fes@bntu.by

Address for correspondence

Livanskiy Dmitry G.
Belarusian National Technical University
67/18, Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Тел.: +375 17 292-30-13
fes@bntu.by

the ice surface and the influence of the configuration of ventilation systems on the air environment inside the arena. The study on the need for mathematical modeling for a deeper understanding of the physical processes occurring inside indoor ice rinks. To study the operation of local heating systems, a numerical solution of a system of differential equations is used that describes the processes of heat and mass transfer in the air space of an indoor ice rink. The paper discusses several technical solutions for the organization of local heating systems. The advantages and disadvantages of the above technical solutions are highlighted. A comprehensive analysis of the operation of local heating systems at an indoor ice rink is an important contribution to the understanding the physical processes and parameters that affect the microclimate inside indoor ice rinks, and can also serve as the basis for optimizing such systems in order to ensure comfortable conditions for spectators.

Keywords: ice rink, heat transfer, local heating system

For citation: Livanskiy D. G. (2024) Local Heating System to Increase the Comfort of Spectators in the Stands of the Indoor Ice Rink. *Science and Technique*. 23 (3), 225–234. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2024-23-3-225-234> (in Russian)

Введение

Крытые ледовые катки являются популярными местами для проведения спортивных соревнований, концертов и других развлекательных мероприятий. Однако зрители на трибунах во время хоккейного матча или выступления фигуристов часто сталкиваются с проблемой низкой температуры, которая, с одной стороны, необходима для поддержания высокого качества льда, с другой – может быть дискомфортной при длительном пребывании зрителей. Это может снижать общий интерес и удовольствие от посещения спортивных мероприятий [1–4].

Улучшение условий нахождения на катке зрителей является важным вопросом для организаторов спортивных и развлекательных мероприятий, поскольку комфортные условия напрямую влияют на удовлетворенность зрителей и их желание посещать спортивные мероприятия в будущем.

Применение локальных систем отопления дает больше возможностей для создания комфортных условий для зрителей по сравнению с централизованными системами. Преимуществами таких систем являются:

- возможность осуществить более эффективный обогрев конкретных зон трибуны, где присутствуют зрители, минимизируя потерю теплоты в других зонах;
- обеспечение более гибкого контроля температуры в каждой зоне в зависимости от времени проведения мероприятия с учетом количества зрителей, находящихся на трибуне;
- снижение энергопотребления на обогрев;
- минимизация негативного воздействия теплого воздуха на качество ледовой поверхности.

Учитывая эти преимущества, разработка и внедрение локальных систем отопления могут

быть более эффективным решением для обеспечения комфорта зрителей на крытых ледовых катках.

В данной статье рассматриваются примеры применения локальных систем отопления, позволяющие улучшить условия комфорта зрителей, необходимые для полноценного восприятия мероприятий на крытом ледовом катке.

Специфика процессов тепло- и массообмена на крытых ледовых катках

Процессы тепло- и массообмена внутри крытого ледового катка отличаются специфическими особенностями и сложностью. Так, на внешней границе ледовой площадки со значительной по площади ледовой пластиной происходит конвективный и радиационный теплообмен с окружающей лед воздушной средой и строительными конструкциями, а также конденсация водяных паров из воздуха. При заливке льда поверхность формируемой ледовой пластины становится источником влагопоступлений в воздушное пространство арены. На внутренних поверхностях ограждающих конструкций (стены, пол, потолок) формируются температуры в зависимости от внутренних и внешних тепловых воздействий, которые отличаются от температуры воздушной среды и ледовой пластины. Внутренние поверхности ограждающих конструкций участвуют в формировании гравитационных конвективных потоков, а также за счет радиационного теплообмена влияют на температуру поверхности ледовой пластины [1–10].

Системы вентиляции и кондиционирования воздуха внутри крытого ледового катка обеспечивают подачу подготовленного и удаление отработанного воздуха для создания и поддер-

жания требуемых параметров воздушной среды. Расположение во внутреннем пространстве ледового катка приточных и вытяжных диффузоров, т. е. источников и стоков воздушной среды, оказывает существенное воздействие на формирование неизоэнтальпических течений в воздушном пространстве арены и определяет перенос воздуха внутри катка. Тепловыделяющее оборудование на ледовых аренах – это осветительная арматура, нагретая внешняя поверхность которой оказывает влияние на температуру воздуха в верхней зоне за счет конвективного переноса воздухом, омываемым поверхностью светильника, а также за счет радиационного теплообмена повышает температуру поверхности льда. Зрители и участники соревнований являются источниками теплоты и влаги.

Указанные особенности крытых ледовых катков обуславливают необходимость использования математического моделирования физических процессов тепло- и массообмена, протекающих внутри крытого катка, путем решения трехмерных дифференциальных уравнений переноса в элементарном выделенном объеме [4–8].

Перенос теплоты в элементарном выделенном объеме $dx \cdot dy \cdot dz$ в основании ледового поля и в воздушном пространстве ледовой арены описывается уравнением [4–8]

$$\rho_i c_i \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} + \vec{w} \nabla T \right) = \lambda_i \nabla^2 T + q_v. \quad (1)$$

Здесь ρ_i , c_i , λ_i – соответственно объемная масса ($\text{кг}/\text{м}^3$), удельная теплоемкость ($\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$) и коэффициент теплопроводности ($\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$) i -го слоя элементарного объема расчетного массива при температуре T , К; τ – время, с; $\vec{w}$ – вектор скорости прохода воздуха через элементарный объем (в воздушном пространстве арены), $\text{м}/\text{с}$; q_v – мощность объемного источника (стока) теплоты, $\text{Вт}/(\text{м}^3)$.

Транспортный перенос теплоты в воздухе в направлении вектора w значительно больше, чем перенос теплопроводностью, $w c_{\text{в}} \rho_{\text{в}} \gg \lambda_{\text{в}}$ ($0,2 \cdot 1005 \cdot 1,2 \gg 0,025$). Поэтому применительно к воздушному пространству арены, ввиду $\vec{w} \nabla T \gg \lambda_{\text{в}} \nabla^2 T$, в уравнении (1) допускается принять $\lambda_{\text{в}} \nabla^2 T = 0$. При $\vec{w} = 0$ выражение (1) является нелинейным уравнением теплопроводности с распределенными теплофизическими коэффициентами и источником теплоты.

Перенос водяных паров в элементарном объеме $dx \cdot dy \cdot dz$ воздушного пространства ледовой арены описывается уравнением [4–8]

$$\frac{\partial \omega}{\partial \tau} + \vec{w} \nabla \omega = D_{\text{вп}} \nabla^2 \omega + j_v, \quad (2)$$

где ω – концентрация водяных паров в объеме $dx \cdot dy \cdot dz$ воздушного пространства арены, $\text{кг}/\text{м}^3$; $D_{\text{вп}}$ – коэффициент диффузии водяных паров в воздухе, $\text{м}^2/\text{с}$; j_v – мощность источника (стока) водяных паров, $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$.

Применительно к исследуемым процессам основными источниками водяных паров, поступающих в воздушное пространство арены, являются зрители и участники соревнований. На поверхности ледового поля осуществляется конденсация водяных паров (сток) из воздушного пространства арены, а при заливке или восстановлении льда смоченная поверхность является источником поступления влаги.

Диффузия водяных паров и фильтрация капельной влаги в основании ледового поля, ввиду незначительного их влияния на температурный режим, не учитываются.

По аналогии с уравнением (1) установлено, что $\vec{w} \nabla \omega \gg D_{\text{вп}} \nabla^2 \omega$. Поэтому при решении уравнения (2) для условий искусственной конвекции допускается принимать $D_{\text{вп}} \nabla^2 \omega = 0$.

Уравнение движения [4–8]

$$\rho_{\text{в}} \frac{d\vec{w}}{d\tau} = \rho_{\text{в}} \vec{g} - \nabla p + \mu \nabla^2 \vec{w}. \quad (3)$$

Уравнение сохранения массы (неразрывности) в элементарном объеме $dx \cdot dy \cdot dz$ воздушного пространства при $j_v = 0$

$$\frac{\partial \rho_{\text{в}}}{\partial \tau} + \nabla (\rho_{\text{в}} \vec{w}) = 0, \quad (4)$$

где $\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$; $\vec{g}$ – гравитационное ускорение, $\text{м}^2/\text{с}^2$; p – давление, Па; μ – динамическая вязкость воздуха, Па/с.

Уравнение радиационного теплового потока [4–8]

$$\begin{aligned} \nabla \cdot (I(r, s) s) + (a + \sigma_s) I(r, s) = \\ = a \frac{\sigma T^4}{\pi} + \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I(r, s') \Phi(s \cdot s') d\Omega', \end{aligned} \quad (5)$$

где r – радиус-вектор; s – вектор направления излучения; s' – то же рассеяния; a – коэффициент поглощения; σ_s – то же рассеяния;

I – полная интенсивность излучения, зависящая от радиус-вектора и направления излучения; Φ – фазовая функция, определяющая диаграмму рассеяния; Ω' – телесный угол; σ – постоянная Стефана – Больцмана ($5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴)).

Граничные условия для системы кондиционирования воздуха определяются ее конфигурацией, температурой, скоростью и влажностью (или массовой концентрацией) водяного пара на выходе из воздухораспределителей [4–8]:

$$T|_{\text{прит}} = t_{\text{пр}}; \quad w|_{\text{прит}} = w_{\text{пр}}; \quad d|_{\text{прит}} = d_{\text{пр}}. \quad (6)$$

Осветительные приборы как источник теплоты учитываются на основании данных о температуре и площади поверхности приборов освещения и конфигурации осветительной системы [4–8]:

$$T|_{\text{свет}} = t_{\text{свет}}; \quad A|_{\text{свет}} = A_{\text{свет}}. \quad (7)$$

Тепло- и влагопоступления от зрителей и участников соревнований учитываются как равномерно распределенные источники теплоты и влаги по поверхности мест их нахождения: $q_{\text{л}}$, $m_{\text{л}}$.

Описание крытого ледового катка

Текущие условия микроклимата на крытых ледовых катках определяются качеством воздуха внутри помещения. Для комфортного нахождения зрителей на трибунах крытых ледовых катков необходимо учитывать следующие параметры микроклимата [1–4]:

– температуру воздуха. Оптимальная температура для комфорта зрителей обычно находится в диапазоне от 18 до 22 °С, а для спортсменов на ледовой площадке от 6 до 12 °С. Однако, учитывая холод, исходящий от ледовой арены, может потребоваться немного более высокая температура в зоне трибун, что требует более детального анализа;

– влажность воздуха. Идеальный уровень влажности для комфорта человека составляет от 30 до 50 %. Максимальная относительная влажность воздуха внутри ледового катка допускается не более 70 % и должна контролироваться, чтобы предотвратить нежелательную конденсацию и поддерживать качество льда;

– скорость воздушного потока должна быть достаточной для обеспечения хорошего воздухообмена, но не слишком высокой, чтобы избежать сквозняков, которые могут усилить ощущение холода;

– концентрацию углекислого газа. Основным источником возможных проблем с качеством воздуха в закрытых ледовых аренах является выделение углекислого газа при дыхании людей.

Схематическое изображение рассматриваемого крытого ледового катка с трибунами на 700 зрителей изображено на рис. 1.

Геометрия здания была создана на основе архитектурных и строительных чертежей. Ледовая арена имеет размеры в плане 68×39 м. Высота помещения ледовой арены до низа покрытия составляет 13 м. В центре ледовой арены расположена хоккейная площадка международного стандарта 56×26 м. Площадь ледового поля составляет 1392 м². Вокруг ледовой площадки располагаются зрительские трибуны: вдоль длинной стороны катка 285 мест и дополнительные 415 мест вокруг ледовой площадки. Данная ледовая арена оборудуется дополнительными местами для зрителей.

Общая мощность приборов освещения составляет 16 кВт.

Помещение ледового катка обслуживают две системы вентиляции и кондиционирования воздуха: первая – для зоны ледовой площадки; вторая – для трибун, расположенных вдоль длинной стороны катка. Над ледовой площадкой располагаются восемь воздухораспределителей типа BURE-500, расположенных на высоте 10 м, с помощью которых подается предварительно подготовленный приточный воздух в количестве 25000 м³/ч (расход воздуха на один воздухораспределитель 3125 м³/ч), температура приточного воздуха 10 °С. Отработанный воздух от зоны ледовой площадки удаляется с помощью 30 воздухоприемников типа ССН-825×225, расположенных на высоте 12 м по периметру стен. Трибуны вдоль длинной стороны ледового катка обслуживает вентиляционная установка с помощью 13 воздухораспределителей типа SAP-Z-400, расположенных на высоте 10 м, посредством которых подается предварительно подготовленный приточный воздух в количестве 10000 м³/ч (расход воздуха на 1 воздухораспределитель 770 м³/ч, температура 22 °С, расход наружного

воздуха в приточной смеси $5700 \text{ м}^3/\text{ч}$, в том числе на одного зрителя $20 \text{ м}^3/\text{ч}$.

В результате проведенного математического моделирования получены распределения температуры, влажности, скорости движения воздуха и концентрации CO_2 . На рис. 2 представлены полученные результаты распределения температуры воздуха в зоне расположения зрителей на трибунах.

Как видно из рис. 2 средняя температура воздуха в зоне расположения зрителей на трибунах составляет около 10°C . Такие низкие температуры воздуха на трибунах вызваны влиянием близкого к ней расположения ледовой площадки.

На рис. 3 представлено распределение температуры во внутреннем пространстве ледовой арены.

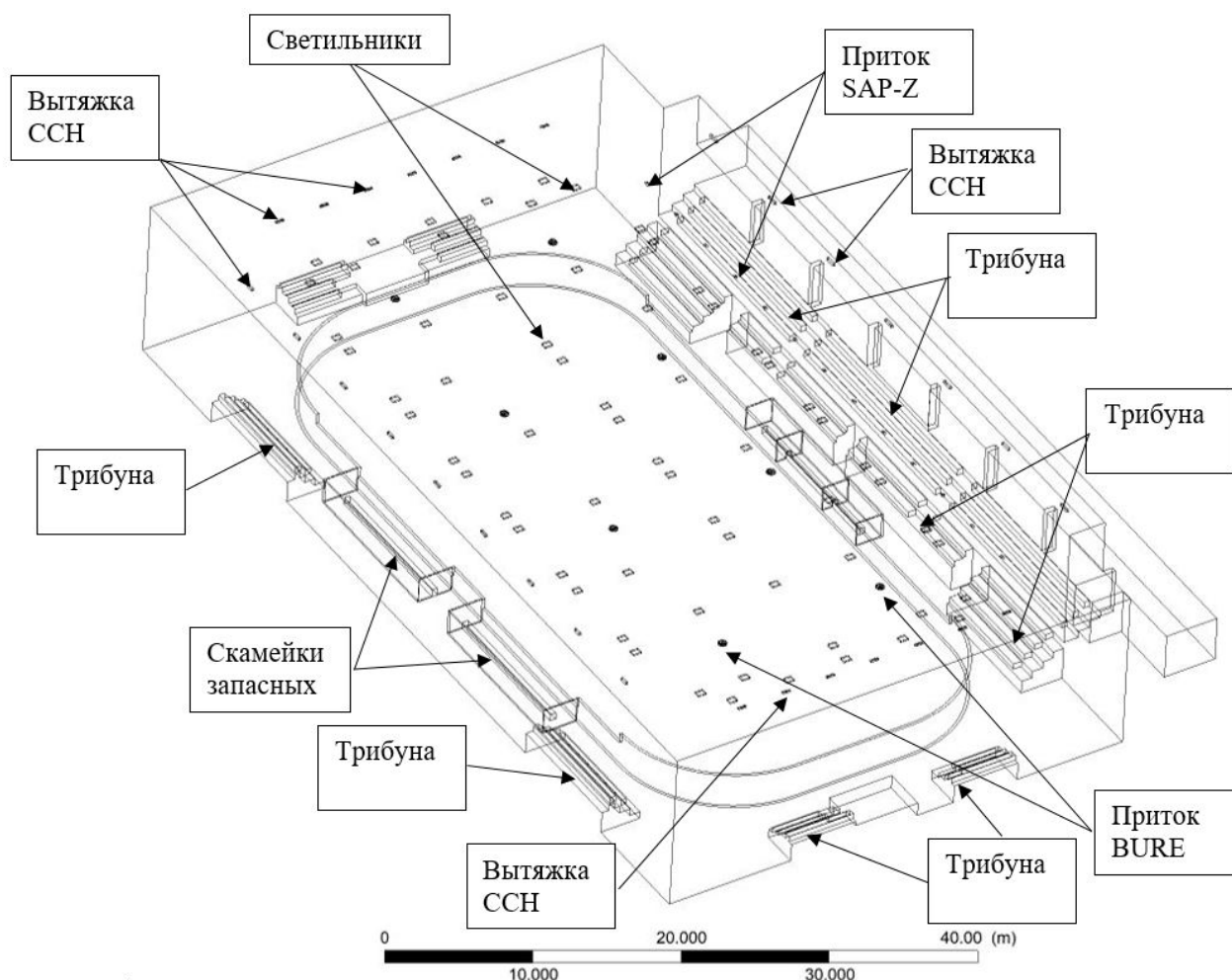


Рис. 1. Расчетная схема крытого ледового катка с трибунами для 700 зрителей:

обозначения: Приток BURE – расположение приточных двухпоточных воздухораспределителей для подачи подготовленного воздуха для спортсменов в зону ледовой площадки; Приток SAP-Z – то же приточных сопловых воздухораспределителей для подачи подготовленного воздуха для зрителей в зону трибун; Вытяжка ССН – то же вытяжных жалюзийных воздухораспределителей для удаления отработанного воздуха из помещения ледового катка; Светильники – то же светильников системы освещения ледового катка; Трибуна – то же мест для зрителей на ледовом катке; Скамейка запасных – расположение запасных игроков во время хоккейного матча

Fig. 1. Design scheme of indoor ice skating rink with stands for 700 spectators:

designations: BURE inflow – location of supply two-stream air distributors for supplying prepared air for athletes to the ice rink area; SAP-Z inflow – location of supply nozzle air distributors for supplying prepared air for spectators to stands area; CCP (SSN) exhaust – location of exhaust louvered air distributors for removing exhaust air from ice rink premises; Lamps – location of luminaires for ice rink lighting system; Grandstand – location of seats for spectators at ice skating rink; Bench – location of substitute players during hockey match

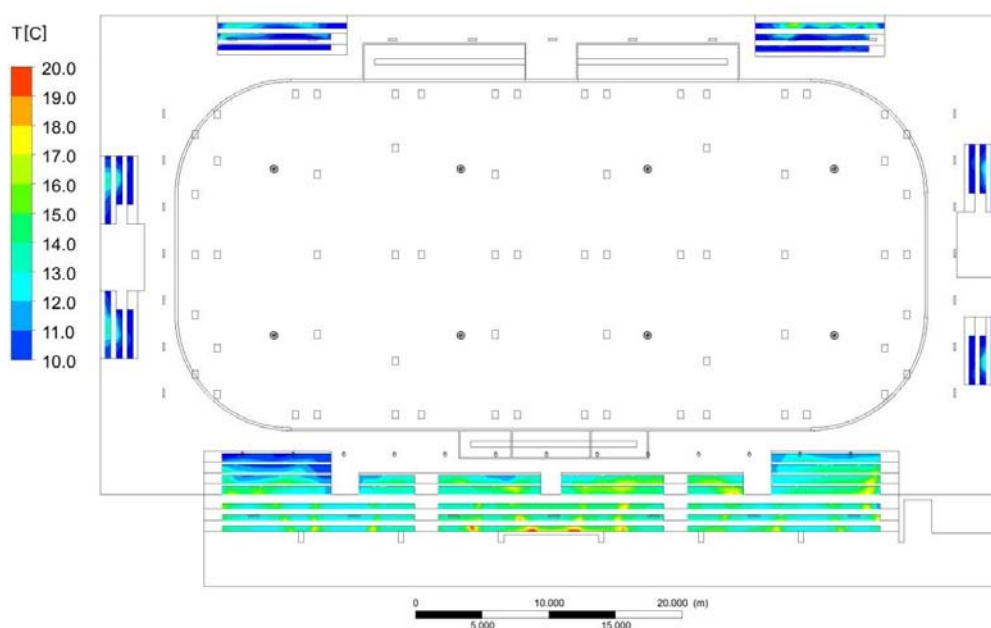


Рис. 2. Распределение температуры в зоне расположения зрителей на трибунах

Fig. 2. Temperature distribution in the stands of spectators area

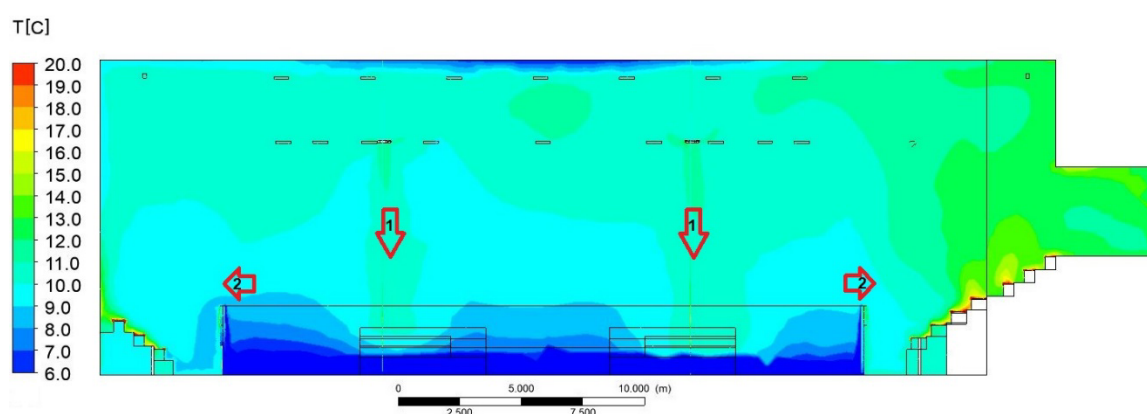


Рис. 3. Распределение температуры во внутреннем пространстве ледовой арены:

стрелки: 1 – приточный воздух, подаваемый в зону ледовой площадки через воздухораспределители типа BURE;
2 – холодный воздух, перетекаемый с ледовой площадки в зону расположения трибун со зрителями

Fig. 3. Temperature distribution in the internal space of the ice arena:

arrows: 1 – supply air supplied to the ice rink area through BURE type air distributors;
2 – cold air flowing from ice rink into area of stands with spectators

На рис. 3 (стрелки 1 и 2) хорошо видно, что приточный воздух (стрелка 1) от воздухораспределителей, расположенных на высоте 10 м над поверхностью льда, подаваемый в зону ледовой площадки, выдавливает холодный объем воздуха с ледовой площадки через огражденные борта за ее пределы (стрелка 2). Холодный воздух, переливаясь через ограждение ледовой площадки, попадает на первые несколько рядов трибун со зрителями. В результате этого зрители на нижних рядах находятся в зоне более

низких температур по сравнению с более высоко расположенными рядами.

На нижней части рис. 2 и справа на рис. 3 видно, что с увеличением высоты расположения ряда трибуны наблюдается постепенное возрастание температуры воздуха до 16 °С. Температура воздуха на нижних рядах трибун составляет около 9–10 °С и повышается до 16 °С на верхних рядах. Данное увеличение температуры вызвано подогревом воздуха за счет тепловыделений от зрителей и воздействи-

ем струй подогретого приточного воздуха, подаваемого в зону зрителей. Таким образом холодный воздух на первых нескольких рядах трибун вызывает наибольший дискомфорт у зрителей.

Рассмотрим вариант технического решения повышения температуры воздуха на первых рядах трибун за счет подачи равномерно распределенного подогретого приточного воздуха под сиденья для зрителей.

На рис. 4 представлен фрагмент плана с одной из трибун для зрителей и разрез 1–1 с размещением приточных воздухораспределителей и вытяжных решеток. В качестве приточного воздухораспределителя предусматривается воздуховод равномерной раздачи. Объем приточного воздуха определен из расчета подачи свежего воздуха в количестве $20 \text{ м}^3/\text{ч}$ на одного

зрителя. Температура подаваемого воздуха принята 20°C . Удаление отработанного воздуха предусматривается с верхней зоны над трибуной с помощью жалюзийных решеток, расположенных на высоте 9 м над уровнем пола. Воздух удаляется в объеме, равном подаче воздуха на данную трибуну.

На рис. 5 приведено распределение температуры по рассматриваемому разрезу 1–1 трибуны для зрителей. Как видно из рис. 5, можно отметить некоторое локальное улучшение температурной обстановки на трибуне, однако количества воздуха в принятом объеме недостаточно для того, чтобы повысить температуру для зрителей на всей трибуне и оградить зрителей от поступления потоков холодного воздуха с ледовой площадки.

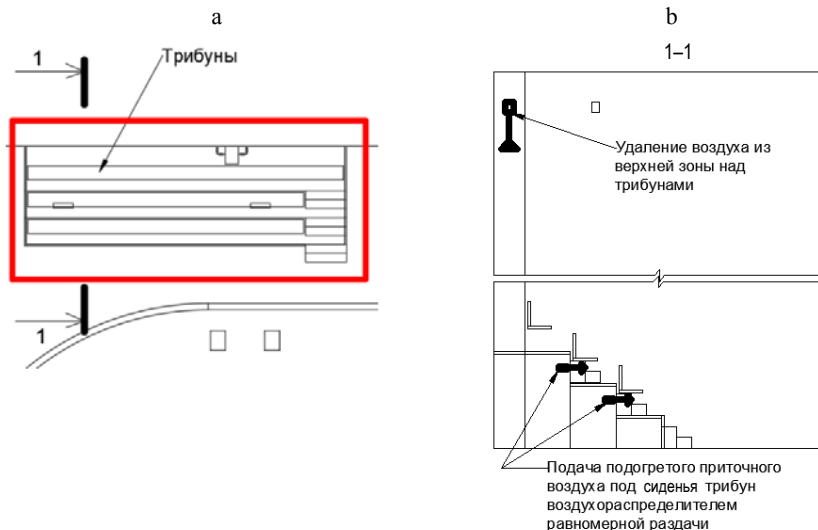


Рис. 4. Фрагмент плана (а) с размещением трибуны для зрителей и разрез 1–1 (b) с размещением приточных воздухораспределителей и вытяжных решеток (техническое решение 1)

Fig. 4. Fragment of plan (a) with placement of grandstand for spectators and section 1–1 (b) with placement of supply air distributors and exhaust grilles (technical solution 1)

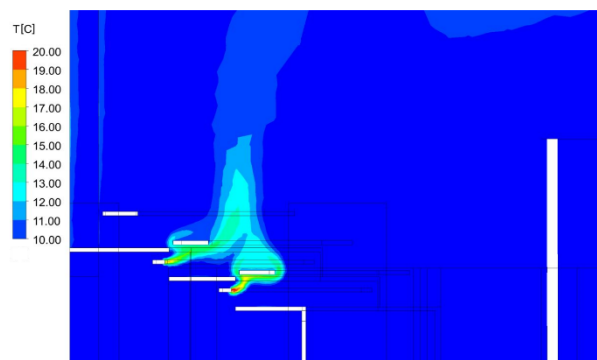


Рис. 5. Распределение температуры по разрезу 1–1 трибуны для зрителей

Fig. 5. Temperature distribution in section 1–1 of spectator stands

На рис. 6 представлен разрез 1–1 со следующим вариантом технического решения повышения температуры воздуха на первых рядах трибуны с установкой компактной отопительно-вентиляционной установки для подогрева воздуха на трибуне. Предполагается, что отопительно-вентиляционная установка забирает холодный воздух с нижней зоны перед трибуной, тем самым снижая негативное влияние на зрителей потоков холодного воздуха, поступающих с ледовой площадки. Подогретый воздух после отопительно-вентиляционной установки с помощью щелевого воздухораспределителя равномерно подается перед трибуной вертикально вверх для создания барьера – воздушно-тепловой завесы. Ожидается, что такая воздушная завеса обеспечит температурное разделение трибуны со зрителями от ледовой площадки.

Как видно из рис. 6б, можно выделить уменьшение объема холодного воздуха в пространстве между первым рядом трибуны и оградительным бортом ледовой площадки (уменьшение области синего цвета, т. е. воздуха с температурой ниже 10 °С). Также стоит отметить факт повышения температуры на первом ряду трибуны и появления очерченной температурной границы между зоной трибуны и пространством перед трибуной со значительно более низкой температурой.

Работа размещенной компактной отопительно-вентиляционной установки в техническом решении 2 позволила уменьшить негатив-

ное влияние на зрителей потоков холодного воздуха, поступающих с ледовой площадки, и как результат, повысить температуру воздуха на трибуне. Однако такое техническое решение создает недостаточное увеличение температуры воздуха на втором и третьем рядах трибуны.

Также стоит отметить повышение температуры не только на трибунах, но и в общем объеме воздушного пространства ледового катка.

Подача подогретого воздуха отопительно-вентиляционной установкой перед трибуной для создания воздушно-тепловой завесы по краям трибун не ограждает всех зрителей от потоков холодного воздуха. Усиление потока воздуха по краям трибун приводит к увеличению требуемой производительности и мощности отопительно-вентиляционной установки.

На рис. 7 представлено техническое решение 3 с размещением компактной отопительно-вентиляционной установки, забирающей воздух перед трибунами и выполняющей функцию обогрева подтрибунного пространства. В данном решении вместо устройства воздушно-тепловой завесы применено светопрозрачное ограждение трибун спереди высотой 600 мм и по бокам высотой 1100 мм.

На рис. 7б видно, что обогрев подтрибунного пространства позволил существенно увеличить температуру воздуха на рядах трибуны и, в свою очередь, также значительно повысить температуру воздуха в общем объеме воздушного пространства ледового катка.

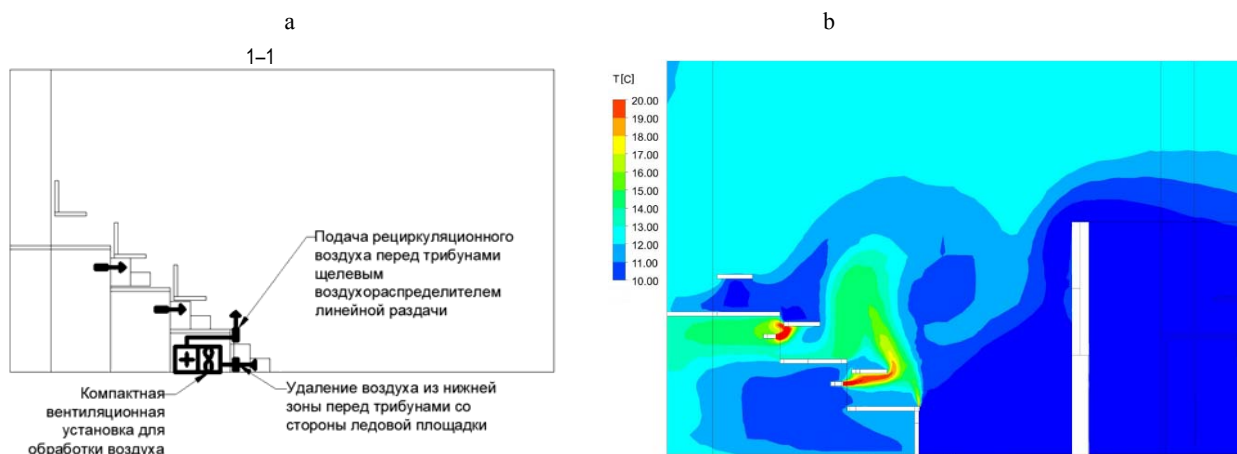


Рис. 6. Разрез 1–1 (а) с размещением компактной отопительно-вентиляционной установки и распределение температуры по разрезу 1–1 (б) трибуны для зрителей (техническое решение 2)

Fig. 6. Section 1–1 (a) with placement of compact heating and ventilation unit and temperature distribution along section 1–1 (b) of spectator stands (technical solution 2)

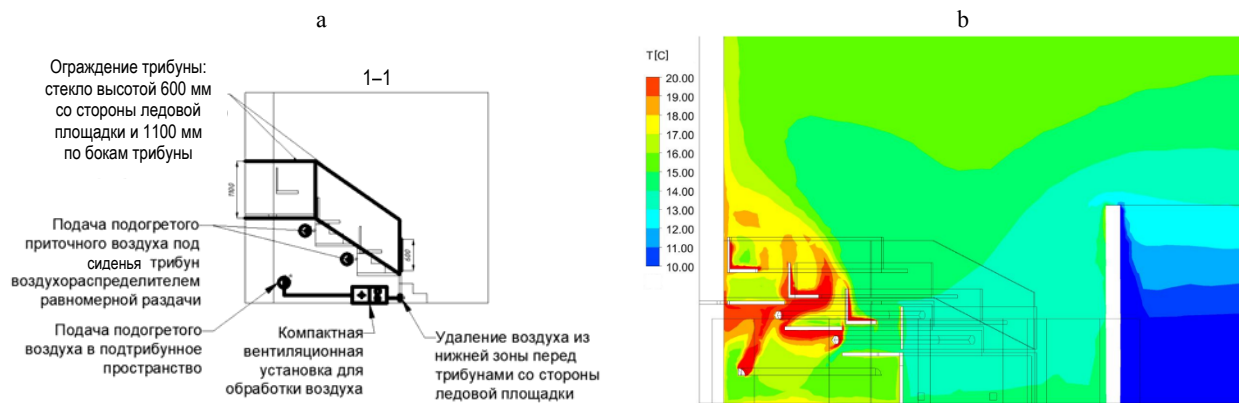


Рис. 7. Разрез 1–1 (а) с размещением компактной отопительно-вентиляционной установки и распределение температуры по разрезу 1–1 (б) трибуны для зрителей (техническое решение 3).

Fig. 7. Section 1–1 (a) with placement of compact heating and ventilation unit and temperature distribution along section 1–1 (b) of spectator stands (technical solution 3)

ВЫВОДЫ

1. Локальные системы отопления трибун для зрителей имеют хорошие перспективы для развития и внедрения на крытых ледовых катках.

2. Важным аспектом применения локальных систем отопления является минимизация возможного негативного эффекта повышения температуры воздуха на качество льда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство ИИХФ по ледовым аренам [Электронный ресурс] / International Ice Hockey Federation. 2016. Режим доступа: https://blob.iihf.com/iihf-media/iihfmvc/media/downloads/projects/ice%20rink%20guide/iihf_ice_rink_guide_rus_web.pdf. Дата доступа: 21.08.2023.
2. Рекомендации по проектированию инженерного оборудования искусственных катков (хладотехническая часть) / Ленингр. зон. науч.-исслед. и проект. ин-т типового и эксперим. проектирования жилых и обществ. зданий «ЛенЗНИИЭП» Госгражданстроя. Л.: [б. и.], 1972. 100 с.
3. Ice rinks // ASHRAE handbook. Refrigeration / Amer. Soc. of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Eng. Atlanta, 2002. Chap. 34. P. 34.1–34.11.
4. Рекомендации по проектированию конструкций основания ледовых площадок многофункциональных сооружений: Р 03.02.178-2019: [для проектировщиков, инженерно-технических работников и студентов технических вузов] / Министерство архитектуры и строительства, Министерство спорта и туризма Республики Беларусь, Белорусский национальный технический университет, Многофункциональный культурно-спортивный комплекс «Минск-арена» / сост.: П. И. Дячек, Д. Г. Ливанский. Минск: БНТУ, 2019. 81 с.
5. Ливанский, Д. Г. Температурно-влажностный режим ледовых площадок многофункциональных сооружений [Электронный ресурс]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Д. Г. Ливанский; Белорусский национальный технический университет. Минск, 2020. Режим доступа: https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/77756/Temperaturno_vlazhnostnyj_rezhim_ledovyh_ploshchadok_mnogofunkcionalnyh_sooruzhenij.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
6. Дячек, П. И. Температурная неоднородность поверхности ледового поля крытых искусственных катков / П. И. Дячек, Д. Г. Ливанский // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2010. № 2. С. 41–47.
7. Ливанский, Д. Г. Анализ методов расчета и процессов формирования температурного режима основания ледового поля / Д. Г. Ливанский // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2010. № 6. С. 74–80.
8. Ливанский, Д. Г. Физико-математическая модель процессов формирования ледового поля / Д. Г. Ливанский // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2011. № 1. С. 69–79.
9. Livanski, D. G. Temperature Mode of an Ice Covering of Sports Construction / D. G. Livanski // Heat Pipes, Heat Pumps, Refrigerators, Power Sources: proc. of the VII Minsk Intern. Seminar, Minsk, 8–11 Sept. 2008 / NIS Sci. Assoc. "Heat Pipes" [et al.]; редкол.: Л. Л. Васильев, А. С. Журавлев, Л. В. Драгун. Minsk, 2008. P. 412–418.
10. Ливанский, Д. Г. Математическое моделирование температурного режима ледовых арен / Д. Г. Ливанский // 20-й Международный научно-промышленный форум «Великие реки'2018» [труды научного конгресса]: в 3 т. / Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т; отв. ред. А. А. Лапшин. Н. Новгород: ННГАСУ, 2018. Т. 3. С. 420–423.

Поступила 10.08.2023

Подписана в печать 11.10.2023

Опубликована онлайн 31.05.2024

REFERENCES

1. International Ice Hockey Federation (2016) *IIHF Ice Arena Guide*. Available at: https://blob.iihf.com/iihf-media/iihfmvc/media/downloads/projects/ice%20rink%20guide/iihf_ice_rink_guide_rus_web.pdf (accessed 21 August 2023) (in Russian).
2. Leningrad Zonal Research and Design Institute of Typical and Experimental Design of Residential and Public Buildings of State Committee for Civil Engineering and Architecture (1972). *Recommendations for the Design of Engineering Equipment for Artificial Skating Rinks (Refrigeration Part)*. Leningrad. 100 (in Russian).
3. Amer. Soc. of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Eng (2002) Chap. 34. Ice rinks. *ASHRAE Handbook. Refrigeration*. Atlanta, 34.1–34.11.
4. P 03.02.178-2019. *Recommendations for the Design of Basestructures for Ice Rinks of Multifunctional Structures*. Minsk, Belarusian National Technical University, 2019. 81 (in Russian).
5. Livanskiy D. G. (2020) *Temperature and Humidity Conditions of Ice Rinks of Multifunctional Structures. Dissertation of Candidate of Technical Sciences*. Minsk, 2020. Available at: https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/77756/Temperaturno_vlazhnostnyj_rezhim_ledovyh_ploshchadok_mnogofunkcionalnyh_sooruzhenij.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
6. Diachek P. I., Livanskiy D. G. (2010) Temperature Non-Uniformity of Ice-Field Surface at Covered Skating-Rinks. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG = Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, (2), 41–47 (in Russian).
7. Livanskiy D. G. (2010) Analysis of Methods for Calculation and Processes Pertaining to Formation of Temperature Regime of Ice Field Foundation. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG = Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, (6), 74–80 (in Russian).
8. Livanskiy D. G. (2011) Physical and Mathematical Model of Ice-Field Formation Processes. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG = Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, (1), 69–79 (in Russian).
9. Livanskiy D. G. (2008) Temperature Mode of an Ice Covering of Sports Construction. Vasiliev L. L., Zhuravliov A. S., Dragun L. V. (eds). *Heat Pipes, Heat Pumps, Refrigerators, Power Sources: Proceedings of the 7th Minsk International Seminar, Minsk, September 8–11, 2008*. Minsk, 412–418 (in Russian).
10. Livanskiy D. G. (2018) Mathematical modeling of the Temperature Regime of Ice Arenas. *20-i Mezhdunarodnyi Nauchno-Promyshlennyi Forum «Velikie Reki'2018»: Trudy Nauchnogo Kongressa. T. 3 [20th International Scientific and Industrial Forum “Velikie Reki [Great Rivers]-2018”]: Proceedings of Scientific Congress. Vol. 3*. Nizhny Novgorod, NNGASU Publishing House, 420–423 (in Russian).

Received: 10.08.2023

Accepted: 11.10.2023

Published online: 31.05.2024