

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-6-500-507>

УДК 685.659.1+536.48

Влияние рекламных баннеров и логотипов команд на температурный режим льда крытых ледовых катков, встраиваемых в ледовую пластину

Канд. техн. наук Д. Г. Ливанский¹⁾

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

© Белорусский национальный технический университет, 2023
Belarusian National Technical University, 2023

Реферат. Искусственные крытые ледовые площадки – сложные и дорогостоящие инженерные сооружения, которые широко используются для проведения различных спортивно-массовых и спортивных мероприятий, таких как ледовое шоу, хоккей, фигурное катание, конькобежный спорт и др. Присутствие на всех перечисленных мероприятиях большого количества зрителей способствует широкому распространению информации с помощью рекламы различных форм представления. Как показал опыт, прежде всего, это различные баннеры и логотипы команд, размещаемые в массиве ледовой пластины. Последнее, очевидно, влияет на температурный режим ледового покрытия, поскольку баннеры изменяют сопротивление теплопередаче слоя льда. Вместе с тем применительно к конкретному виду мероприятий устанавливаются (международными федерациями хоккея на льду, фигурного катания, конькобежного спорта, в том числе и международными правилами) жесткие требования к параметрам температурного поля поверхности ледовой пластины. Для изучения влияния рекламных баннеров на температурный режим поверхности льда проведены натурные эксперименты на ледовой площадке стандартного размера многофункциональной спортивной арены на 15000 зрителей и численное решение дифференциального уравнения теплопроводности для льда с рекламными баннерами. Проведенное исследование подтверждает, что рекламные баннеры на ледовых площадках оказывают существенное влияние на температурный режим льда, что влияет на качество льда и условия проведения спортивных соревнований. Соблюдение рекомендаций по выбору материалов и цветов баннеров, а также эффективное управление системой охлаждения помогут минимизировать негативные последствия баннеров на качество льда.

Ключевые слова: ледовый каток, теплообмен, логотип команды, рекламный баннер

Для цитирования: Ливанский, Д. Г. Влияние рекламных баннеров и логотипов команд на температурный режим льда крытых ледовых катков, встраиваемых в ледовую пластину / Д. Г. Ливанский // *Наука и техника*. 2023. Т. 22, № 6. С. 500–507. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-6-500-507>

Influence of Advertising Banners and Team Logos on the Temperature Regime of Ice of Indoor Ice Skating Rinks, Built Into the Ice Plate

D. G. Livanskiy¹⁾

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

Abstract. Artificial indoor ice rinks are complex and expensive engineering structures that are widely used for hosting various public and sports events, such as ice shows, hockey, figure skating, speed skating, etc. The presence of large audiences at all these events contributes to the widespread dissemination of information through various forms of advertising. As experience has shown, this primarily involves various banners and team logos placed within the ice surface. The latter obviously affects

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 temperature regime of the ice covering, as banners alter the heat transfer resistance of the ice layer. Furthermore, strict requirements for temperature field parameters on the ice surface are established for each type of event (by international federations of ice hockey, figure skating, speed skating, including international rules). To study the impact of advertising banners on the temperature regime of the ice surface, both natural experiments on a standard-size ice rink in a multifunctional sports arena for 15,000 spectators and numerical solutions of the heat conduction differential equation for ice with advertising banners were conducted. The research confirms that advertising banners on ice rinks have a significant impact on the temperature regime of the ice, which in turn affects the quality of the ice and the conditions for holding sports competitions. Adhering to recommendations regarding the choice of banner materials and colors, as well as effective management of the cooling system, can help minimize the negative consequences of banners on ice quality.

Keywords: ice rink, heat transfer, team logo, advertising banner

For citation: Livanskiy D. G. (2023) Influence of Advertising Banners and Team Logos on the Temperature Regime of Ice of Indoor Ice Skating Rinks, Built Into the Ice Plate. *Science and Technique*. 22 (6), 500–507. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-6-500-507> (in Russian)

Введение

Крытые ледовые площадки оказывают большое влияние на развитие массового и профессионального спорта, а также проведение спортивных соревнований различного масштаба и уровня. Международными федерациями ледовых видов спорта установлены требуемые температурные режимы поверхности льда. Так, для хоккеистов требуется поддерживать температуру поверхности льда $t_{\text{л}} = -7\text{ }^{\circ}\text{C}$, а для фигуристов $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, при этом разность температур в любых двух точках поверхности ледовой пластины не должна превышать 0,5 К.

В последнее время широко распространено применение в теле ледовой пластины логоти-

пов хоккейных команд и рекламных баннеров спонсоров, которые устанавливаются в промежуточных слоях льда перед началом проведения соревнований различного уровня. По информации, опубликованной на сайте ИИХФ (Международная федерация хоккея с шайбой) [1], общая площадь стандартной ледовой поверхности для проведения международных соревнований по хоккею обычно составляет 1800 м^2 . Суммарная площадь всех логотипов на ледовой арене во время чемпионата мира по хоккею обычно зависит от требований организаторов мероприятия и спонсорских соглашений. Так, например, логотипы могут занимать от 5 до 50 % площади ледовой поверхности, в зависимости от их количества и размеров (рис. 1).

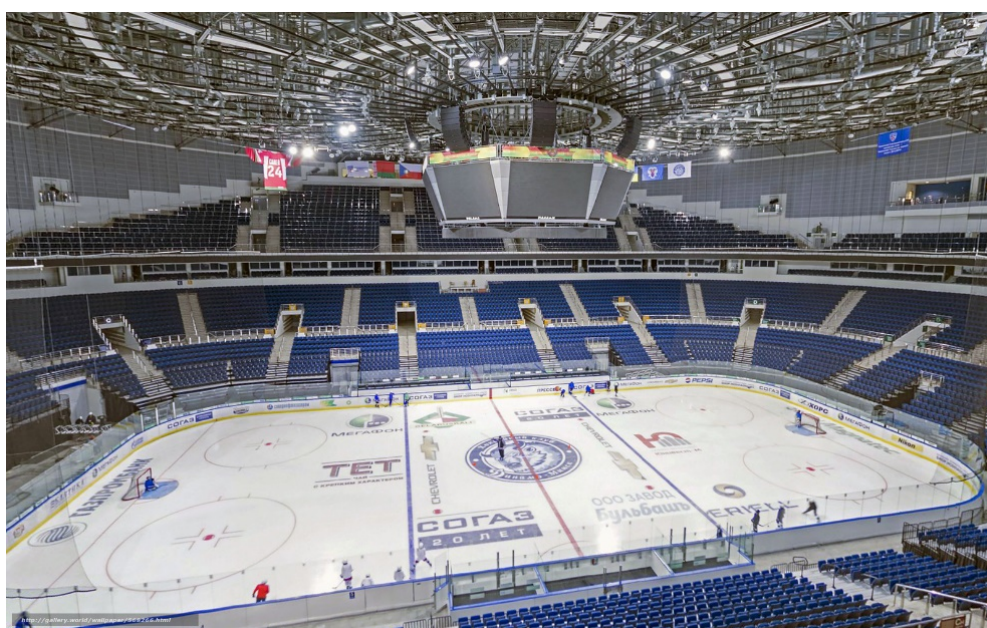


Рис. 1. Расположение рекламных баннеров и логотипа команды на ледовой площадке

Fig. 1. Location of advertising banners and team logo on the ice rink

Анализ влияния рекламных баннеров

Анализ отечественных и зарубежных источников [1–4] показывает, что логотипы команд и рекламные баннеры в массиве льда оказывают как экономический, так и социальный эффект. Они могут стать визуальным элементом, который привлечет внимание зрителей на катке и телезрителей во время телевизионной трансляции, например, хоккейного матча, что может повысить интерес к спортивной команде и спортивному мероприятию в целом. Логотип команды может оказать влияние на эстетику ледового катка. Если логотип выполнен в ярких цветах и соответствует общему дизайну катка, то он может добавить яркости и энергии в общую атмосферу различных мероприятий.

В свою очередь, логотипы команд и рекламные баннеры оказывают влияние и на температурный режим ледового поля. Баннеры представляют собой специальные листы с нанесенными на них цветными рисунками или надписями, которые обычно выполняются из бумаги, полиэтиленовой или поливинилхлоридной пленки. В случае, если логотип выполнен из материала с низкой теплопроводностью, то это может привести к некоторому увеличению температуры на поверхности льда над логотипом и, как результат, ухудшить качество льда в зоне расположения логотипа или рекламного баннера.

Стоит отметить, что достаточно важными факторами влияния логотипов и рекламных баннеров на температурный режим льда являются их цвет, толщина и теплопроводные свойства материала. Общеизвестно, что темные цвета, такие как черный или темно-синий, поглощают больше лучистой энергии и теплоты, чем светлые цвета, что может приводить к повышению температуры льда в тех местах, где расположены логотипы с темными цветами, и, как результат, приводить к различным проблемам, таким как плохое качество льда, повышенный риск таяния и т. д. Если логотип выполнен из материала, который плохо проводит теплоту, то это может также привести к некоторому увеличению температуры на поверхности льда над логотипом. Важно, чтобы повышение температуры было незначительным и не оказывало серьезного влияния на катание или качество льда.

Обычно рекламный баннер располагают в теле льда на ледовой площадке на расстоянии примерно 20 мм от поверхности бетонной плиты. На рис. 2 приведена примерная схема расположения рекламных баннеров на ледовой площадке и в теле льда.

Площадь логотипов команд на ледовом катке может значительно различаться в зависимости от конкретных требований. Обычно размер логотипа зависит от габаритов конкретной зоны, отведенной для размещения рекламы на ледовой арене, на которой будет играть команда. Например, для профессиональных лиг, таких как Национальная хоккейная лига (NHL), минимальный размер логотипа для центральной зоны на льду составляет 10 футов, или 3,05 м, в диаметре, а для зон угловых бортов – 4 фута, или 1,22 м, в диаметре. В то же время, в любительских лигах и на маленьких ледовых аренах размеры логотипов могут быть значительно меньше. Также важно отметить, что в различных странах и регионах могут быть свои требования и нормативы к размерам логотипов на ледовых аренах [1–4].

Для изучения влияния рекламных баннеров на температурный режим поверхности льда ледовых площадок автором проведены натурный и численный эксперименты. Для проведения натурного эксперимента была выбрана многофункциональная ледовая арена на 15000 зрителей с ледовой площадкой стандартного размера 30×60 м. Данная ледовая арена предназначена для проведения международных соревнований по хоккею с шайбой, например чемпионатов Европы, чемпионата мира или олимпийского хоккейного турнира. Площадь рекламных баннеров на данной ледовой площадке составляет 400 м², или ≈22 % от общей площади.

В процессе проведения натурного эксперимента была подготовлена ледовая площадка, выполнены измерения температуры (рис. 3) на участках льда без баннеров и с баннерами различного цвета. По окончании эксперимента осуществлен анализ полученных данных.

Измерения температуры проводились с помощью датчиков температуры ИТП-МГ4. Участки с однородной температурой поверхности льда были выбраны на максимальном удалении от расположения распределительных коллекторов системы холодоснабжения, чтобы минимизировать разность температур над подающим и обратным трубопроводами [5].

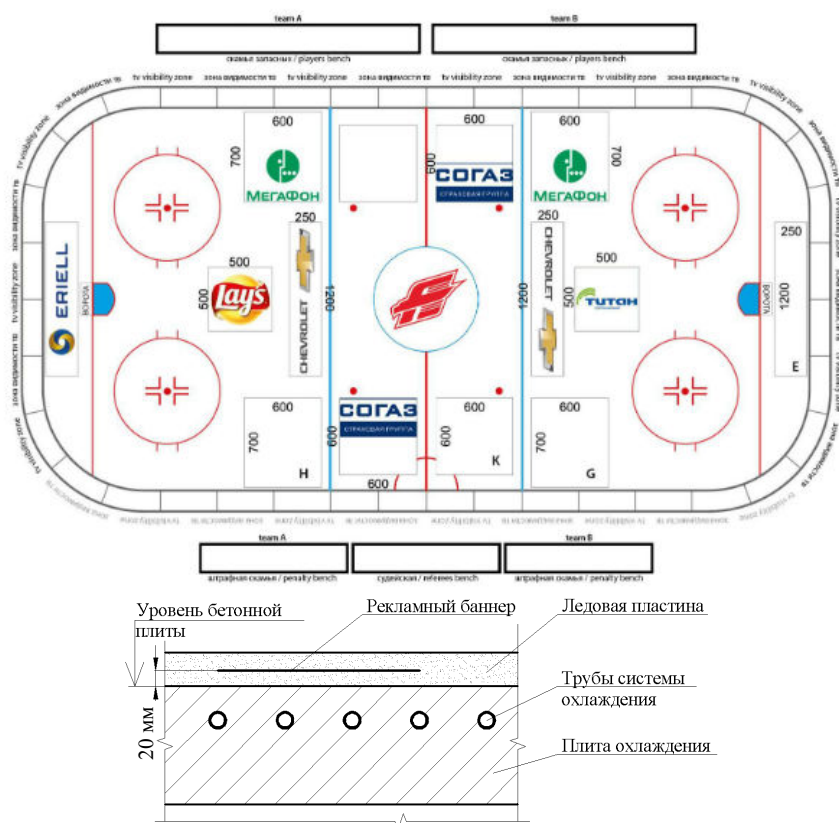


Рис. 2. Схема расположения рекламных баннеров на ледовой площадке и внутри ледовой пластины

Fig. 2. Layout of advertising banners on the ice platform and inside the ice plate

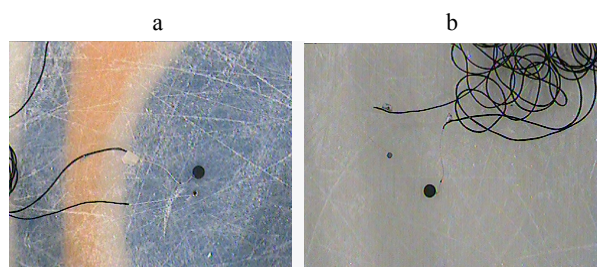


Рис. 3. Фото измерения температуры поверхности льда в зоне: а – расположения рекламного баннера; б – чистого льда без баннера

Fig. 3. Photos of measuring temperature of the ice surface: а – in the area of the advertising banner; б – in the area of pure ice without a banner

Результаты измерения температуры поверхности льда с наличием рекламного баннера разного цвета в теле льда приведены в табл. 1.

Как видно из полученных в результате измерений данных, диапазон изменения средней температуры поверхности льда для рекламных баннеров разных цветов составляет

$$\Delta t_{\text{л.ср}} = \max(t_{\text{л.ср}}) - \min(t_{\text{л.ср}}) = -6,66 - (-6,78) = 0,12 \text{ (}^{\circ}\text{C)}.$$

Таблица 1

Результаты измерения температуры поверхности льда с наличием рекламных баннеров разного цвета в теле льда

Results of measuring the temperature of the ice surface with advertising banners of different colors in the body of ice

Цвет баннера в теле льда	Среднее значение температуры льда серии измерений $t_{\text{л.ср}}, ^{\circ}\text{C}$	Полная погрешность измерений $\Delta U, ^{\circ}\text{C}$	Относительная погрешность измерений $\delta, \%$
Желтый	-6,76	$\pm 0,16$	2,4
Черный	-6,76	$\pm 0,11$	1,6
Зеленый	-6,68	$\pm 0,15$	2,2
Красный	-6,66	$\pm 0,12$	1,8
Синий	-6,75	$\pm 0,11$	1,7
Участок льда без баннера	-6,78	$\pm 0,11$	1,6

Как видно из данных табл. 1 и расчета по формуле (1), влияние цвета баннера на температурную неоднородность на поверхности льда составляет 24 % ($0,12 ^{\circ}\text{C} / 0,5 ^{\circ}\text{C} \cdot 100 \% = 24 \%$), что можно считать существенным при условии, что разность температур в любых двух точках поверхности ледовой пластины допускается не более $0,5 ^{\circ}\text{C}$. Таким образом, наличие реклам-

ного баннера может локально повысить температуру льда сверх допустимого значения.

Стоит отметить, что наибольшее повышение температуры поверхности льда наблюдается для красного и зеленого цветов баннера по сравнению с температурой участка льда без баннера. В то же время температура поверхности участка льда для желтого, черного и синего баннеров незначительно выше (на 0,02–0,03 °C) по сравнению с температурой участка льда без баннера. Это можно объяснить за счет того, что лед хоть и является прозрачным телом, но на ледовой площадке лучистый теплообмен преимущественно происходит с поверхностным слоем льда. В связи с чем свойства баннера поглощать и отражать лучистый тепловой поток оказывают дополнительное влияние на повышение температуры льда.

Численный эксперимент исследования процессов теплопереноса в массиве льда с рекламным баннером проводился путем решения дифференциального уравнения теплопроводности

$$\begin{aligned} \rho(x, y, z, T) c(x, y, z, T) \frac{\partial T}{\partial \tau} = \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(x, y, z, T) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda(x, y, z, T) \frac{\partial T}{\partial y} \right] + \\ + \frac{\partial}{\partial z} \left[\lambda(x, y, z, T) \frac{\partial T}{\partial z} \right] + q_v, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\lambda(x, y, z, T)$, $\rho(x, y, z, T)$, $c(x, y, z, T)$ – соответственно коэффициент теплопроводности,

Вт/(м·К), плотность, кг/м³, удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·К); τ – время, с; x, y, z – координаты, м; T – температура, К.

Начальные и граничные условия задавались максимально близкими к условиям проведения натурного эксперимента: температура воздуха над ледовой площадкой $t_v = 6$ °C; температура хладоносителя подающая/обратная $t_{хн} = -17,5/-14,7$ °C; коэффициенты теплопроводности рекламного баннера: $\lambda_{бумага} = 0,14$ Вт/(м·К); $\lambda_{ПЭ} = 0,41$ Вт/(м·К). Более подробно решение поставленной задачи рассмотрено в [5–8].

Расчетная схема основания ледового поля и фрагмент распределения температур в его основании представлены на рис. 4. На данном фрагменте отчетливо виден волнообразный характер распределения изотерм внутри расчетной схемы ледового поля, вызванный расположением трубопроводов с чередующейся температурой. Данный волновой характер сохраняется в теле льда ниже и выше уровня расположения рекламного баннера, что свидетельствует о незначительном влиянии, которое оказывает рекламный баннер на температуру льда.

На рис. 5 представлено распределение температуры на поверхности льда над местом размещения рекламного баннера при различных толщинах ($\delta = 0,01; 0,05; 0,1$ мм) и материалах баннера (а – бумага; б – полиэтилен).

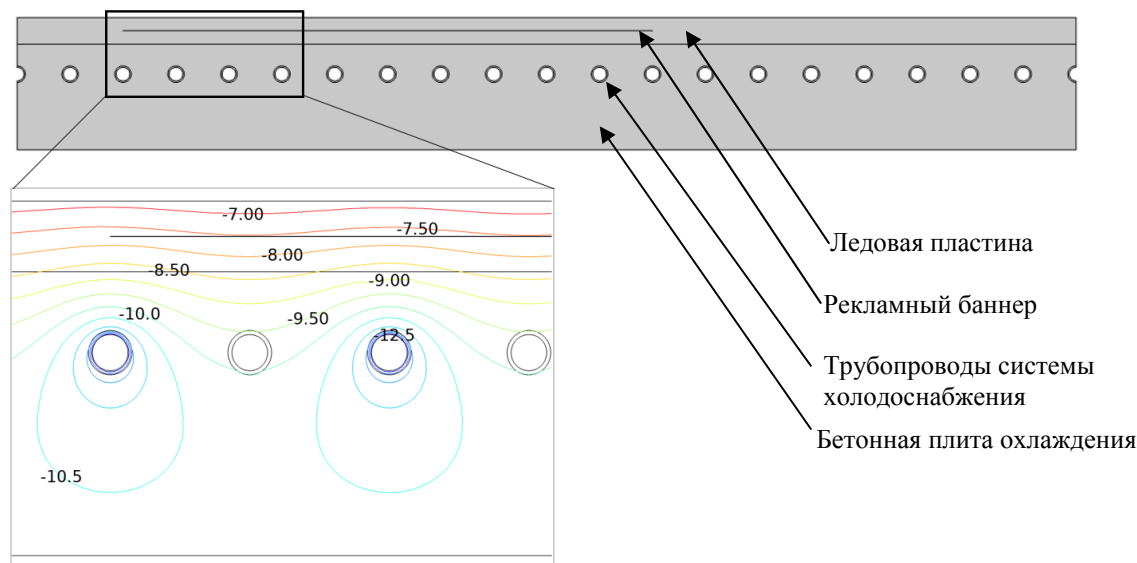


Рис. 4. Расчетная схема основания ледового поля и фрагмент распределения температур в его основании

Fig. 4. Calculation scheme of the base of the ice field and a fragment of the temperature distribution at its base

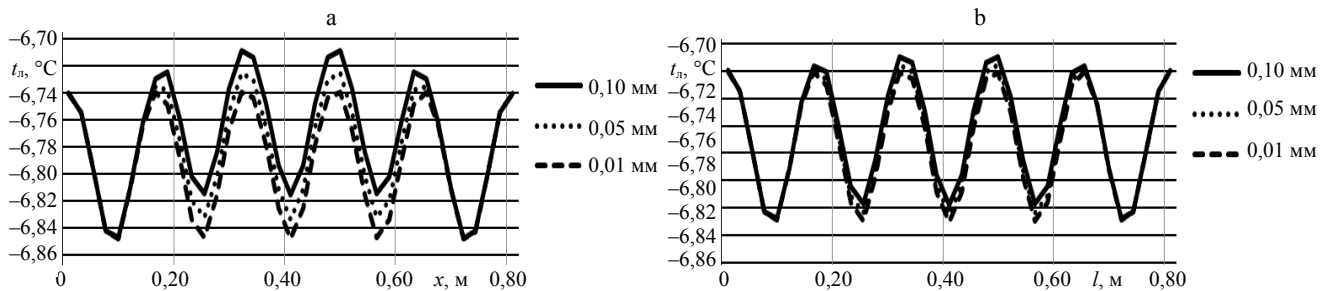


Рис. 5. Распределение температуры на поверхности льда над местом размещения рекламных баннеров при их различных толщинах ($\delta = 0,01; 0,05; 0,10$ мм) и материалах: а – бумага; б – полиэтилен

Fig. 5. Temperature distribution on the ice surface above the location advertising banner with different thickness ($\delta = 0.01$ mm; 0.05 mm; 0.10 mm) and banner material: а – paper; б – polyethylene

Установлено: влияние рассмотренных рекламных баннеров на температуру поверхности льда малозначительное, повышение температуры составляет $0,01$ – $0,03$ °C, что приводит к увеличению температурной неоднородности на поверхности льда на 6% ($0,03$ °C / $0,5$ °C $\times 100\% = 6\%$). Это вызвано дополнительным термическим сопротивлением, создаваемым баннером в теле льда, что приводит к локальному повышению температуры льда. Рекомендуется применять рекламные баннеры с толщиной листа менее $0,1$ мм и коэффициентом теплопроводности по величине, близкой к коэффициенту теплопроводности водного льда.

На рис. 6 представлено распределение температуры на поверхности льда в зависимости от высоты расположения рекламного баннера из полиэтиленовой пленки толщиной $0,1$ мм над поверхностью бетонной плиты охлаждения ($h = 0,02; 0,01; 0,005$ м). Как видно из графиков рис. 6, высота расположения рекламного баннера над плитой охлаждения оказывает малозначительное влияние на температуру поверхности льда, повышение температуры состав-

ляет $0,01$ °C, что приводит к увеличению температурной неоднородности на поверхности льда на 2% ($0,01$ °C / $0,5$ °C $\cdot 100\% = 2\%$).

Изменения температуры на поверхности льда на участках над подающим и обратным трубопроводами системы холодоснабжения для рекламных баннеров, выполненных из полиэтиленовой пленки толщиной $0,1$ мм, приведены на рис. 7.

Необходимо отметить, что процесс намораживания льда в зоне расположения рекламного баннера проходит несколько медленнее по сравнению с зоной без баннера. Данный факт подтверждается формой графика на рис. 7б. Так, графики изменения температур с течением времени над подающим и обратным трубопроводами системы холодоснабжения над баннером смещены по шкале времени вправо (рис. 7б) по сравнению с графиками изменения температур без баннера (рис. 7а). Величина запаздывания намораживания льда в зоне расположения рекламного баннера над подающим трубопроводом составляет $\Delta t = 1,5$ мин и над обратным трубопроводом $\Delta t = 2,3$ мин.

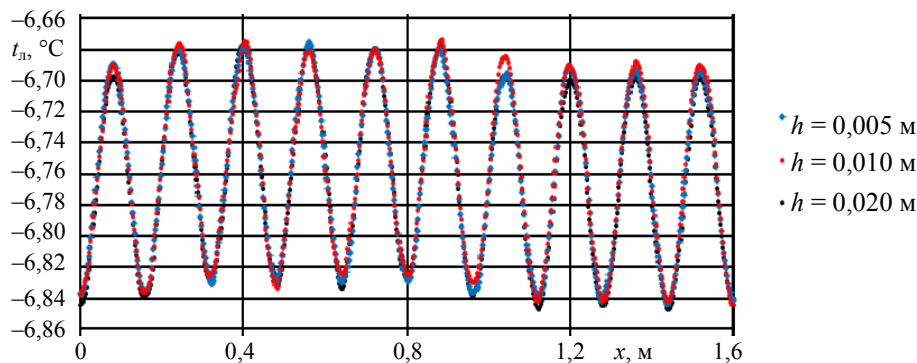


Рис. 6. График изменения температуры на поверхности льда при различной высоте расположения рекламного баннера над плитой охлаждения ($h = 0,020; 0,010; 0,005$ м)

Fig. 6. Graph of temperature changes on the ice surface at different heights of the advertising banner above the cooling plate ($h = 0.020$ m; 0.010 m; 0.005 m)

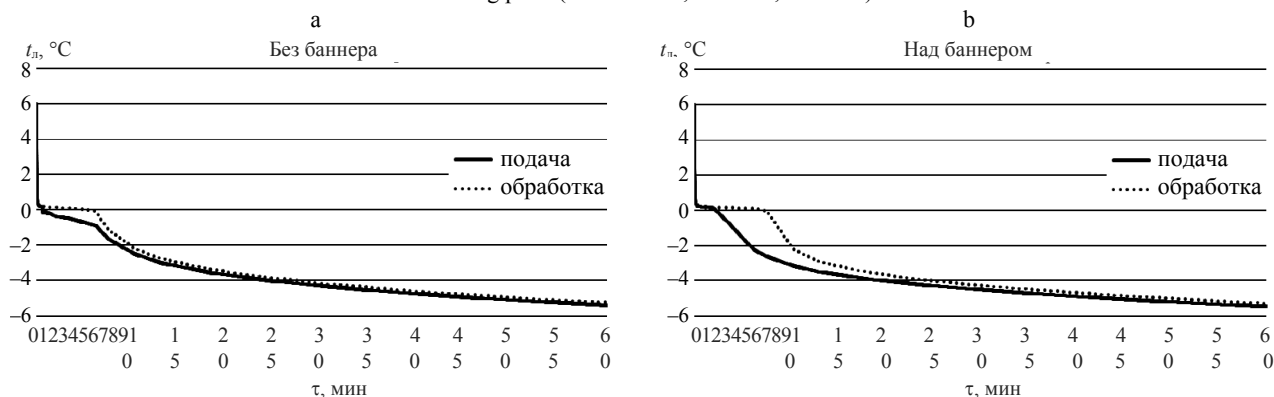


Рис. 7. Изменение температуры поверхности льда над подающим и обратным трубопроводами системы холодоснабжения в месте отсутствия (а – без баннера) и расположения рекламного баннера (б – над баннером) в теле льда при намораживании слоя льда толщиной 1 мм (материал баннера – полиэтилен толщиной 0,1 мм)

Fig. 7. Changes in the temperature of the ice surface above the supply and return pipelines of the refrigeration supply system in the place of absence (a – “without a banner”) and the location of an advertising banner (b – “above the banner”) in the ice body when freezing a layer of ice with a thickness of 1 mm (material of the banner is polyethylene with a thickness of 0.1 mm)

Установлено, что наличие рекламных баннеров в теле льда создает условия для более медленного намораживания ледового поля в местах их расположения. Данное обстоятельство приводит к тому, что вода не будет успевать перейти в лед за отведенный период времени, например во время хоккейного матча, когда за 15 мин перерыва технические службы должны восстановить поверхность льда.

ВЫВОДЫ

1. Наличие рекламных баннеров и логотипов команд в теле льда крытых ледовых площадок оказывает существенное влияние на температуру поверхности льда, что подтверждается проведенными натурными экспериментами.

2. Рекламные баннеры создают дополнительное термическое сопротивление, что приводит к локальному повышению температуры льда. Рекомендуется применять рекламные баннеры с толщиной листа менее 0,1 мм и коэффициентом теплопроводности по величине, близкой к коэффициенту теплопроводности водного льда.

3. Высота расположения рекламного баннера относительно плиты охлаждения оказывает малозначительное влияние на температуру поверхности льда, повышение температуры составляет $0,01$ °C, что приводит к увеличению

температурной неоднородности на поверхности льда на 2 % ($0,01$ °C / $0,5$ °C · 100 % = 2 %).

4. Рекламные баннеры в теле льда замедляют процесс намораживания льда в зоне расположения рекламного баннера по сравнению с участками льда без баннера на ледовой площадке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство ИИХФ по ледовым аренам [Электронный ресурс] / International Ice Hockey Federation. 2016. Режим доступа: https://blob.iihf.com/iihf-media/iihfimvc/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 сооруже-

- ний [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_ploschadok_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. Известия высших учебных заведений и энергетических 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. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ*. 2010. № 6. С. 74–80.
 8. Ливанский, Д. Г. Физико-математическая модель процессов формирования ледового поля / Д. Г. Ливанский // *Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических 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 30.11.2023
- ЛИТЕРАТУРА**
1. Internartional Ice Hockey Fedetation (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 a. 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_ploschadok_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. Livanski 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: 30.11.2023