



Review Article

Received: April 19, 2021

Accepted: July 02, 2021

Published: July 02, 2021

ISSN 2658-5553

Creating an Ice Surface for Indoor Ice Arenas. A Review

Vasileva, Irina Leonidovna^{1*} 
Nemova, Darya Viktorovna¹ 

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation;
vasilievaa_irina@mail.ru (VIL); darya0690@mail.ru (NDV)

Correspondence:* email vasilievaa_irina@mail.ru; contact phone [+79095863919](tel:+79095863919)

Keywords:

Ice arena; Ice rink; Indoor rink; Ice mats; Technological slab; Heat supply system; Cooling system; Drainage system; Electric coupling welding; Butt welding; Collector; Polythene pipe

Abstract:

The object of research is a complex of technological and structural operations to implement the ice cover of an indoor ice arena. An extensive scientific and regulatory framework is needed to create high-quality ice with specific parameters for different kinds of sports. A review of the scientific literature revealed a lack of information on this topic. A multi-layer structure under the ice is called a technological slab. The paper describes three fundamentally different types of technological slabs. Creating the most frequently encountered model on a concrete base is described in stages with recommendations.

1 Introduction / Введение

С развитием зимних видов спорта количество строящихся ледовых арен во всем мире стремительно увеличивается. Россия по данным за 2019 год занимает третье место в мире по числу имеющихся крытых ледовых арен, их число составляет 612 шт. Лидер в этой области Канада – 3300 шт., второе место занимает США – 1535 шт. Тем не менее спрос опережает предложение и необходимость в создании закрытых катков становится все более актуальной в связи с массовым приобщением людей к спорту и формированием у них привычки здорового образа жизни, что является приоритетной задачей в социальной политике государств. Прирост количества спортивных сооружений, имеющих ледовые арены, составляет 15-20% в год. Согласно данным [1], [2] в Китае к концу 2022 года будет построено более 500 новых ледовых арен. В Санкт-Петербурге к проведению Чемпионата мира по хоккею с шайбой в 2023 году планируется возведение самого грандиозного проекта крытой ледовой арены в мире (рис.1), вместимость которого составит 22000 человек [3].



Рис. 1 – Проект крытого хоккейного стадиона SKA-Арена [3]
Fig. 1 - SKA-Arena Indoor Hockey Stadium project [3]

В связи со сложившейся тенденцией научное сообщество постоянно находится в поиске инновационных решений по усовершенствованию строительных конструкций (как правило, это большепролетные технически сложные сооружения) и микроклимата ледовых арен. Анализ научной литературы показал, что исследователи в большей степени уделяют внимание воздухораспределению и вентиляции крытых ледовых арен [4]–[11]. При помощи вычислительных и физико-математических методов воссозданы и спрогнозированы потоковые процессы инженерных систем [12]–[18]. Представители Санкт-Петербургского Политехнического университета Петра Великого в статье [19] предложили использовать производимую холодильной машиной во время работы тепловую энергию для воздушного отопления ледовых арен. В работе был проведен анализ экономической эффективности использования системы рекуперации тепла для различных технических нужд и приведены реальные положительные показатели по применению такой концепции в Санкт-Петербургской спортивной школе олимпийского резерва по фигурному катанию.


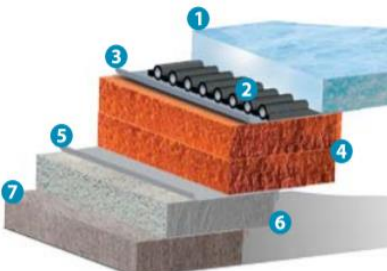
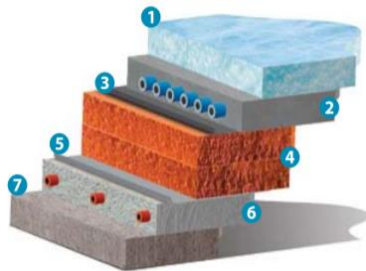
Без сомнений, главным элементом крытых ледовых арен является само ледовое покрытие. Отсутствие научных исследований в предметной области, касающейся технологии производства ледового поля, создает потребность в том, чтобы разобраться в этом вопросе детальней, так как от качества выполнения данной конструкции напрямую зависят все эксплуатационные характеристики сооружения. Допущенные на этапе строительства ошибки могут повлечь за собой серьезные последствия вплоть до того, что конструкция не будет представлять собой лед и перестанет выполнять свою главную функцию. Устранение подобных ошибок требует времени и больших финансовых вложений. Неприятные инциденты с некачественным ледовым покрытием во время соревнований или тренировок могут значительно повлиять на престиж и репутацию арены, соответственно, это скажется на окупаемости вложенных инвестиций [20]–[22].

Целью исследование является рассмотрение этапов создания ледового поля.

2 Types of technological ice slabs / Виды технологических плит ледового покрытия

Создание ледового покрытия представляет собой многоступенчатую задачу. Основу конструкции составляет технологическая плита, которая бывает нескольких видов, имеющих свои отличия и преимущества (табл. 1) [23].

Таблица 1. Виды технологических плит ледового покрытия
Table 1. Types of technological ice slabs

№ п/п	1	2	3
Тип	Засыпная плита	Айс-маты	Бетонная плита
Вид	 <p>Рис. 2 – Технологическая плита с засыпкой из кварцевого песка[23] Fig. 2 - Technological slab with quartz sand backfill[23]</p>	 <p>Рис. 3 – Технологическая плита из айс-матов[23] Fig. 3 - Technological slab made of ice mats[23]</p>	 <p>Рис. 4 – Технологическая плита с охлаждающей бетонной плитой[23] Fig. 4 - Technological slab with cooling concrete slab[23]</p>
Состав	1. Лед 2. Засыпная плита с трубами хладоносителя 3. Слой геотекстиля 4. Слой теплоизоляции 5. Выравнивающая песочная подсыпка	1. Лед 2. Айс-маты 3. Мембрана ПВХ 4. Теплоизоляция 5. Мембрана ПВХ 6. Выравнивающая цементная стяжка	1. Лед 2. Технологическая плита с трубами хладоносителя 3. Слой скольжения 4. Слой теплоизоляции 5. Слой пароизоляции

	6. Слой геотекстиля 7. Опорное основание 8. Грунт	7. Опорная плита	6. Цементная стяжка с трубами системы подогрева ледового поля 7. Опорная плита
Описание	<ul style="list-style-type: none"> • Наиболее дешевый вариант, возможность применения в ситуации с ограниченным бюджетом; • После размораживания льда площадку нельзя использовать с другими целями, так как велика вероятность повреждения трубной системы. 	<ul style="list-style-type: none"> • Высокая мобильность и скорость монтажа и демонтажа; • Возможность многократного применения; • Устройство на любом основании. 	<ul style="list-style-type: none"> • Универсальный вариант с возможностью использования площадки после разморозки для других целей, например, для проведения культурных мероприятий; • Отсутствие опасности повреждения трубной системы, так как она надежно забетонирована • Необходимо предусмотреть деформационные швы

3 Creating a cooling concrete slab / Создание охлаждающей бетонной плиты

Третья конструкция на сегодняшний день является наиболее распространенной, рассмотрим ее подробнее.

В таком случае опорная плита, как правило, представляет собой железобетонное основание. Согласно СП 45.13330.2012 «Свод правил. Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87» (Russian Federation applicable Code Design SP 45.13330.2012 «Earthworks, Grounds and Footings») оно должно выполняться на подготовке из тощего бетона, а все бетонные поверхности, соприкасающиеся с грунтом, должны быть гидроизолированы. По выполнению данного этапа составляются акты на скрытые работы.

Если в ледовый комплекс входят и другие здания, то по периметру ледовой арены необходимо предусмотреть деформационный шов, разделяющий здания, так как во время эксплуатации плиты могут сжиматься и расширяться, а также их осадки могут различаться. Деформационный шов оснащается гидроизоляционной шпонкой, заполняется пенополистиролом и герметизируется.

Проектом должны быть предусмотрены ямы снеготаяния и технологические каналы для разводки инженерных систем (холодоснабжение, теплоснабжение, дренаж) в непосредственной близости с ледовыми полями. Их следует выполнять по такой же технологии, как и бетонное основание, т.е. как подземное сооружение.

Следующей задачей является создание цементно-песчаной стяжки с трубами системы подогрева ледового поля. Трубная система обогрева поля защищает технологическую плиту от возможного промерзания и выпучивания грунта и позволяет использовать арену круглогодично. Эта система представляет собой набор труб с заданным шагом (рис. 5а): половина – подача, половина обратка; замыкаются они в систему коллекторов, располагающихся в технологических каналах (рис 5б).

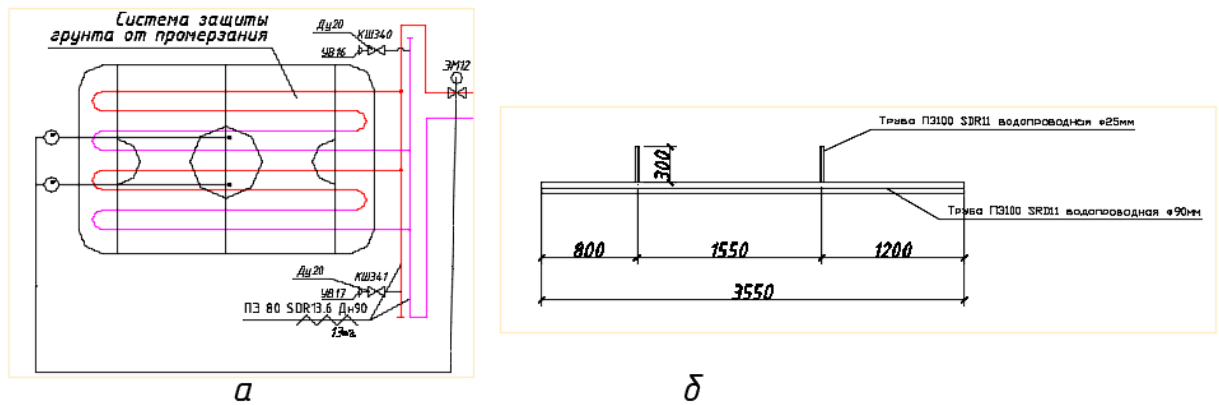


Рис. 5 – Система теплоснабжения ледового поля: а – схема, б - коллектор (рисунок автора)
Fig. 5 - Ice field heat supply system: a-circuit, b-collector

Полиэтиленовые трубы соединяются между собой при помощи фитингов, а также с применением стыковой и электромужфтовой сварки. В первом случае трубы свариваются с использованием специального стыкового аппарата, в составе которого есть нагреватель. Благодаря ему, торцы труб нагреваются и частично плавятся и, соответственно, при плотном соприкосновении скрепляются, образуя единый элемент. Во втором случае применяются специальные элементы – электросварные фитинги, они также сделаны из полиэтилена, но в их составе есть электроспираль. Сварочный аппарат присоединяется к контактам фитинга и передает на спираль ток с определенными параметрами. Выделяемое при этом тепло расплавляет полиэтилен, материал пластифицируется и соединяет свариваемые элементы.

Во избежание непровара свариваемые детали должны быть соосны, без перекосов. Перед сборкой и сваркой обязательно проводится очистка свариваемых поверхностей и их обезжиривание. После сварочных процессов трубы оставляют в неподвижном состоянии до полного естественного остывания.

После монтажных работ проводится проверка на прочность и плотность (герметичность). Система испытывается избыточным давлением в течение 10 минут, после чего давление в системе понижается и производится осмотр соединений. Места утечек определяются по звуку просачивающегося воздуха. Дефекты устраняются при снижении давления до нуля и отключении компрессора. Система, считается выполненной удовлетворительно, если во время испытаний не произошло разрывов, видимых деформаций и падения давления по манометру, составляются акты испытаний. В дальнейшем проводится заливка трубной системы бетонной смесью с прохождением виброрейкой по направляющим. В работающем состоянии конструкция имеет температуру чуть выше 0°C.

Поверх бетонной стяжки наносится слой гидро- и пароизоляции. Это может быть техническая полиэтиленовая пленка.

Параметры теплоизоляционного слоя подбираются таким образом, чтобы исключить взаимное влияние нагретого нижнего и холодного верхнего слоев при достаточно большой разности температуры: нижний слой 5...10 °С, а верхний может достигать -15...-20 °С (например, на олимпийских объектах в Турине температура хладагента составляет -8...-18 °С). Утеплитель выбирается прочный на сжатие и выкладывается в два слоя с перехлестом швов.

Под холодной плитой для облегчения ее движения при температурных деформациях предусматривается скользящий слой, выполняемый из геотекстиля.

Наиважнейшей частью ледового поля является железобетонная плита с трубами холодоснабжения в теле бетона, с лотками по периметру для отведения талой воды в канализацию, а также с закладными деталями для крепления борта в случае хоккейного ледового поля. Трубная система холодоснабжения выполняется по такому же принципу, что и система теплоснабжения, но шаг труб более частый, магистральные трубопроводы имеют больший диаметр. Трубная система размещается между двумя рядами арматуры, учитывая несколько технологических принципов:

- 1) Арматура вяжется, а не сваривается во избежание повреждения скользящего слоя;
- 2) Трубная система привязывается к арматурным сеткам;

- 3) Чтобы исключить прогибание плит утеплителя необходимо увеличить площадь опирания фиксаторов арматуры «кубики». Этого можно достичь, располагая под фиксаторами небольшие части асбестоцементных плит;
- 4) По выполнению трубной системы холодоснабжения следует провести испытания на прочность и плотность (герметичность).

В местах прохода трубопроводов теплоносителя и хладоносителя сквозь стенки технологических каналов предусматриваются гильзы.

Поверхности металлоконструкций (лотки, патрубки), эксплуатируемые в контакте с жидкими средами защищаются от коррозии окраской эмалью согласно СП 28.13330.2017 «Свод правил. Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85» (Russian Federation applicable Code Design SP 28.13330.2017 «Protection against corrosion of construction»).

Для компенсации изменений линейных размеров охлаждающей плиты под влиянием температуры по периметру плиты также предусматривается температурный шов, отделяющий плиту от основных конструкций. Температурный шов заполняется упругим жгутом «Вилотерм». Шов закрывается металлическим уголком (рис.6).

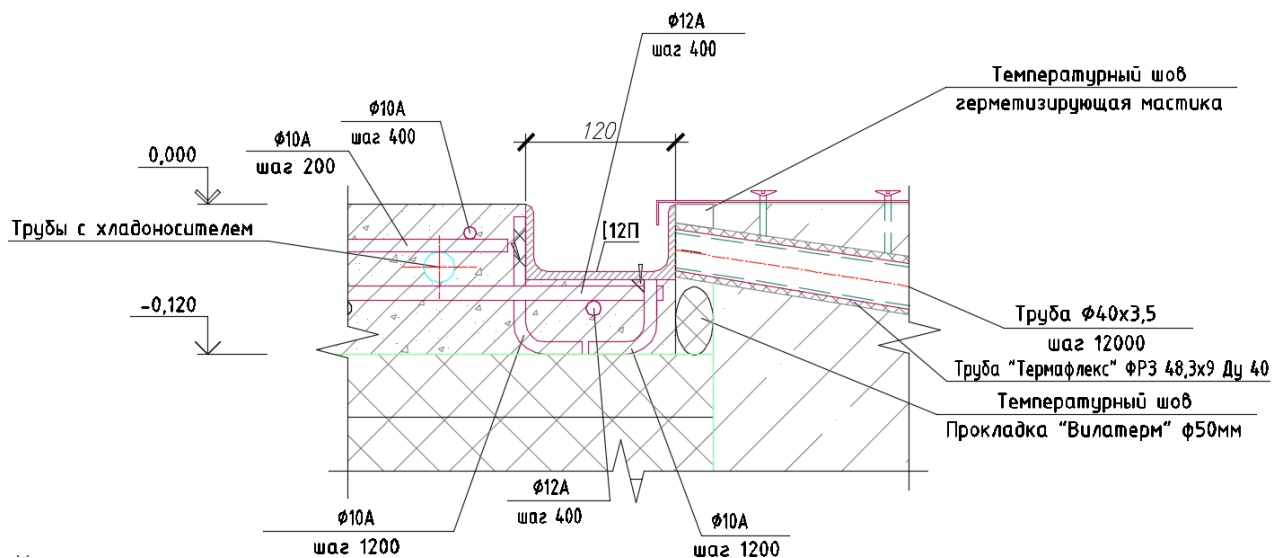


Рис. 6 – Узел монтажа лотка для снеготаяния (рисунок автора)
Fig. 6 - Assembly of the snowmelt tray

После испытания систем оборудование и трубопроводы в технологических каналах изолируются (рис.7), толщина изоляции рассчитывается специально. Эта операция необходима для предотвращения потерь тепла и замерзания труб, а также для того, чтобы инженерные системы с противоположными функциями (согреть и замораживать) не оказывали влияние друг на друга (рис. 8). Применяется трубная и рулонная изоляция [24], [25].



Рис. 7 – Трубопроводы в техническом канале: А - неизолированные, Б - изолированные
 Fig. 7 - Pipelines in the technical channel: A - uninsulated, B - isolated

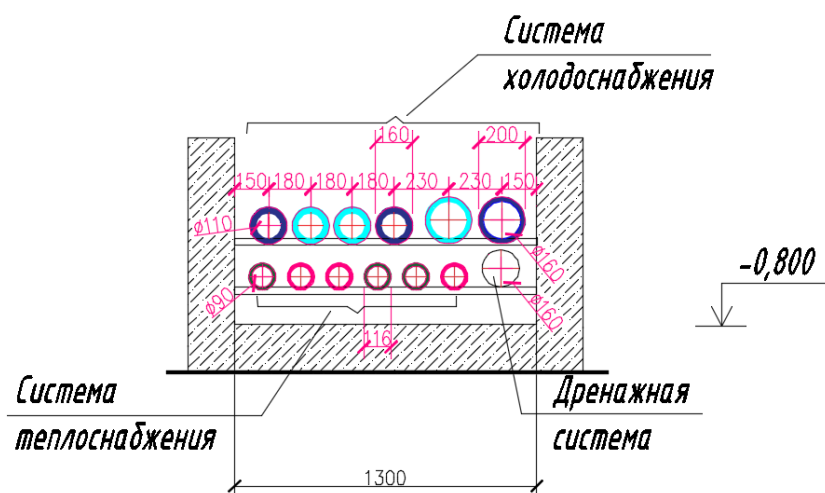


Рис. 8 – Разрез технологического канала с магистральными трубопроводами ледового поля (рисунок автора)
 Fig. 8 - Section of the technological channel with the main pipelines of the ice field

Бетонирование охлаждающей плиты должно производиться непрерывным образом с тщательным вибрированием межтрубного пространства. Окончательная отделка бетонной поверхности производится затирочной машиной с шлифовальным кругом.

Все технологические каналы должны быть перекрыты в уровень с чистым полом. Крышки техканалов выполняются съемными для возможности будущего ремонта и замены непригодных соединительных деталей систем.



4 Freezing of the ice surface and recommendations for feature use / Намораживание ледового покрытия и рекомендации по эксплуатации

Запуск системы холодоснабжения производится после завершения монтажных и пусконаладочных работ при заполнении системы холодоносителем. Процесс намораживания льда до рабочей толщины выполняется послойно и занимает 48-72 часа в зависимости от квалификации персонала. Изготовление льда начинается путем медленного охлаждения плиты до температуры $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ по всей площади. Первые 10 мм льда заливаются из шланга для предотвращения пузырьков, так как это ухудшает прозрачность поверхности. Следующий этап – нанесение вододисперсионной краски белого цвета пульверизатором и создание второго слоя льда. Поверх него наносят разметку соответствующую виду спорта, для которого подготавливается арена. Ее выполняют из полиэстера, креповой бумаги, либо краской. В дальнейшем ледовая поверхность намораживается до проектной отметки послойно с помощью дузирующих насадок на заливочных шлангах и шлифуется.

Для поддержания льда в нужном состоянии с него снимают слой снега, образующийся после катания посетителей специальными ледозаливочными комбайнами. Заливка льда во время эксплуатации в последующем должна занимать мало времени и для этой цели выполняется теплой водой с температурой не менее $55\text{ }^{\circ}\text{C}$. Горячая вода расплавляет поверхность очищенного от снега льда, обеспечивая таким образом хорошее сцепление нового слоя льда с предыдущим. При заливке холодной водой поверхностный слой льда будет менее прочным, так как между ним и основной массой остается тонкий слой нерасплавленного снега, который образуется при срезании поврежденного коньками льда. При эксплуатации ледового покрытия важно не допускать чрезмерного увеличения толщины льда, приводящего к неэкономичной работе холодильной установки вследствие необходимости поддержания более низкой температуры холодоносителя и связанного с этим перерасхода электроэнергии. При многократной дозаливке лед становится непрозрачным и разметка не видна. Для поддержания высокого качества льда кроме плановой профилактической остановки катка рекомендуется не реже одного раза в год выполнять полноценную замену ледового покрытия. Размораживание льда осуществляется за счет теплопритоков от окружающей среды.

5 Conclusions / Заключение

Основной задачей работы было предоставить подробное описание создания ледового покрытия закрытой ледовой арены. Для этого было выполнено следующее:

1. Описаны три вида технологических плит;
2. Выделены характерные этапы создания ледового покрытия с технологическими особенностями;
3. Составлен перечень технологических и конструктивных операций по созданию ледового катка;
4. Представлены рекомендации по эксплуатации ледового покрытия.

References

1. Qiao, L., Liu, D. Design towards the conversion between land sports and ice sports in infield space of arena. DOI:10.1088/1757-899X/780/5/052023.
2. Li, L., Liu, X., Zhang, T., Lin, W. Utilization of displacement ventilation and on-site measurement of thermal environment in an ice arena. *Building and Environment*. 2020. 186. Pp. 107391. DOI:10.1016/j.buildenv.2020.107391.
3. Kyragin, A. SKA Arena, what the stadium will be like when it is built. .
4. Toomla, S., Lestinen, S., Kilpeläinen, S., Leppä, L., Kosonen, R., Kurnitski, J. Experimental investigation of air distribution and ventilation efficiency in an ice rink arena. *International Journal of Ventilation*. 2019. 18(3). Pp. 187–203. DOI:10.1080/14733315.2018.1437881.
5. Zhao, R., Gosselin, L., Tessier, J., Fafard, M. Airflow and heat stress in a metallurgical industrial building under different working conditions. *International Journal of Ventilation*. 2019. 18(3). Pp. 167–186. DOI:10.1080/14733315.2018.1435028.

Vasileva, I.; Nemova, D.

Creating an ice surface for indoor ice arenas. A Review;

2021; *AlfaBuild*; Volume 18 Article No 1802. doi: 10.34910/ALF.18.2



6. Ferrantelli, A., Viljanen, K., Kurnitski, J. Energy analysis in ice hockey arenas and analytical formula for the temperature profile in the ice pad with transient boundary conditions. *Advances in Building Energy Research*. 2019. DOI:10.1080/17512549.2019.1615549.
7. Bellache, O., Ouzzane, M., Galanis, N. Coupled conduction, convection, radiation heat transfer with simultaneous mass transfer in ice rinks. *Numerical Heat Transfer; Part A: Applications*. 2005. 48(3). Pp. 219–238. DOI:10.1080/10407780590945588.
8. Lestinen, S., Koskela, H., Jokisalo, J., Kilpeläinen, S., Kosonen, R. The use of displacement and zoning ventilation in a multipurpose arena. *International Journal of Ventilation*. 2016. 15(2). Pp. 151–166. DOI:10.1080/14733315.2016.1203622.
9. Kwon, Y. II. A study on thermal characteristics affected by air distribution system installed in indoor ice rink arena. *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*. 2019. 27(1). DOI:10.1142/S201013251950007X.
10. Taebnia, M., Toomla, S., Leppä, L., Kurnitski, J. Air Distribution and Air Handling Unit Configuration Effects on Energy Performance in an Air-Heated Ice Rink Arena. *Energies*. 2019. 12(4). Pp. 693. DOI:10.3390/en12040693.
11. Yang, C., Demokritou, P., Chen, Q., Spengler, J., Parsons, A. Ventilation and air quality in indoor ice skating arenas. *ASHRAE Transactions*. 2000. 106.
12. Palmowska, A., Lipska, B. Research on improving thermal and humidity conditions in a ventilated ice rink arena using a validated CFD model. *International Journal of Refrigeration*. 2018. 86. Pp. 373–387. DOI:10.1016/j.ijrefrig.2017.11.016.
13. Bellache, O., Ouzzane, M., Galanis, N. Numerical prediction of ventilation patterns and thermal processes in ice rinks. *Building and Environment*. 2005. 40(3). Pp. 417–426. DOI:10.1016/j.buildenv.2004.08.004.
14. Palmowska, A., Lipska, B. Experimental study and numerical prediction of thermal and humidity conditions in the ventilated ice rink arena. *Building and Environment*. 2016. 108. Pp. 171–182. DOI:10.1016/j.buildenv.2016.08.024.
15. Stamou, A.I., Katsiris, I., Schaelin, A. Evaluation of thermal comfort in Galatsi Arena of the Olympics “Athens 2004” using a CFD model. *Applied Thermal Engineering*. 2008. 28(10). Pp. 1206–1215. DOI:10.1016/j.applthermaleng.2007.07.020.
16. Sargsyan, S., Zhila, V. Mathematical modelling of the indoor ice arena with two control volumes for calculation of the air exchange. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. 365(2). Pp. 022059. DOI:10.1088/1757-899X/365/2/022059.
17. Palmowska, A., Lipska, B. The experimental validation of numerical modeling of the air distribution in the indoor ice rink arena. *Proceedings of the World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering*. 2015.
18. Yang, C., Demokritou, P., Chen, Q., Spengler, J. Experimental Validation of a Computational Fluid Dynamics Model for IAQ Applications in Ice Rink Arenas. *Indoor Air*. 2001. 11(2). Pp. 120–126. DOI:10.1034/j.1600-0668.2001.110206.x.
19. Kondrashov, A., Egorov, M. Energy conservation and the use of the heat of refrigeration of ice arenas to heat the school of figure skating of St. Petersburg. *J. Phys.* 2019. Pp. 12063. DOI:10.1088/1742-6596/1369/1/012063.
20. Alpenberg, J. Motives and structure behind capital investments in ice hockey arenas – the Swedish way. *Sport in Society*. 2020. 23(3). Pp. 416–432. DOI:10.1080/17430437.2020.1696527.
21. Delaney, K.J., Eckstein, R. Urban power structures and publicly financed stadiums. *Sociological Forum*. 2007. 22(3). Pp. 331–353. DOI:10.1111/j.1573-7861.2007.00022.x.
22. Smolianov, P., Marc-Aurele, C., Norberg, J., Dion, S., Schoen, C., Jensen, J. Comparing the practices of US hockey against a global model for integrated development of mass and high-performance sport. *Sport in Society*. 2020. 23(3). Pp. 399–415. DOI:10.1080/17430437.2020.1696523.
23. Presentation of an indoor ice (training) rink. .
24. Krashchenko, V., Tretyakov, N., Chernov, A., Shaykhalov, I., Zhukov, A. Modeling and thermal calculation of a pipeline insulation system. *E3S Web of Conferences*. 2020. 164. Pp. 14021. DOI:10.1051/e3sconf/202016414021.
25. Vasileva, I., Nemova, D., Kotov, E., Andreeva, D., Ali, M. Al. The Use of Aerogel in Building Envelopes. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2020. 70. Pp. 793–802. DOI:10.1007/978-3-030-42351-3_69.

