

УДК 697.94

Разработка схемы системы утилизации теплоты конденсации холодильных машин для снижения зависимости ледовой арены от городских систем отопления и горячего водоснабжения

Д-р техн. наук И. А. КОРОТКИЙ¹, д-р техн. наук Е. Н. НЕВЕРОВ¹,
П. С. КОРОТКИХ¹, В. Г. ЛОНШАКОВ²

¹Кемеровский государственный университет

²Образовательный фонд «Талант и успех», г. Сочи

E-mail: neverov42@mail.ru

В статье представлены результаты разработки системы утилизации и использования теплоты конденсации холодильных машин ледовых полей и системы кондиционирования воздуха для снижения зависимости инженерных и технологических систем объектов от городских систем отопления и горячего водоснабжения. Данное техническое решение обеспечит экономию тепловой и электрической энергии, потребляемой как самой системой холодоснабжения, так и прочими системами, действующими на объекте. При использовании перегрева сжатого газа в холодильном контуре устанавливается дополнительный теплообменник. В этом случае можно утилизировать до 20 % всего тепла, сбрасываемого установкой. Так как температура хладагента в конце процесса сжатия может превышать 100 °С, среда (вода или воздух) нагревается до 80–90 °С. Технические решения разработаны для Малой ледовой арены и Тренировочной арены для хоккея с шайбой, расположенных в олимпийском парке г. Сочи.

Ключевые слова: утилизация теплоты, конденсация, ледовое поле, кондиционирование воздуха.

Информация о статье:

Поступила в редакцию 22.11.2020, принята к печати 20.01.2021

DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-1-34-39

Язык статьи — русский

Для цитирования:

Короткий И. А., Неверов Е. Н., Коротких П. С., Лоншаков В. Г. Разработка схемы системы утилизации теплоты конденсации холодильных машин для снижения зависимости ледовой арены от городских систем отопления и горячего водоснабжения // Вестник Международной академии холода. 2021. № 1. С. 34–39. DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-1-34-39

Developing a scheme for the utilization system of condensation heat from refrigerating machines to decrease the dependency of ice arena on municipal systems of heating and hot water supply

D. Sc. I. A. KOROTKIY¹, D. Sc. E. N. NEVEROV¹,
P. S. KOROTKIKH¹, V. G. LONSHAKOV²

¹Kemerovo State University

²Educational Foundation «Talent and Success», Sochi

E-mail: neverov42@mail.ru

The article presents the results of developing a system for utilization of condensation heat from refrigerating units and air-conditioning systems of ice fields to decrease the dependency of engineering and technical systems of the objects on municipal systems of heating and hot water supply. The proposed solution provides saving of heat and electric energy consumed by both the refrigeration supply system and other systems of the object. When compressed gas overheating is used, an addition heat exchanger is added to the refrigerating circuit allowing to utilize up to 20 % of heat released by the unit. As the temperature of refrigerating medium may be above 100 °C in the end of compression process, the environment (water or air) is heated up to 80–90 °C. The technology has been developed for Small Ice Hockey Arena and Ice Hockey Training Rink in Sochi Olympic Park.

Keywords: heat utilization, condensation, ice field, air conditioning.

Article info:

Received 22/11/2020, accepted 20/01/2021

DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-1-34-39

Article in Russian

For citation:

Korotkiy I. A., Neverov E. N., Korotkikh P. S., Lonshakov V. G. Developing a scheme for the utilization system of condensation heat from refrigerating machines to decrease the dependency of ice arena on municipal systems of heating and hot water supply. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2021. No 1. p. 34-39. DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-1-34-39

Введение

В последние годы обострился вопрос повышения энергоэффективности отечественных предприятий и внедрения энергосберегающих технологий на них [1]–[3].

Одним из способов уменьшения потребления как тепловой так и электрической энергии является внедрение систем утилизации бросовой теплоты, которая выделяется во время многих технологических процессов, в том числе и при работе холодильного оборудования. Зачастую теплота просто сбрасывается в атмосферу, если говорить о предприятиях холодильной промышленности, то преимущественно посредством воздушных конденсаторов. Если направить эту теплоту на технологические нужды объекта (подогрева воды, отопления помещений и т. д.), которые, в традиционном случае, требуют дополнительных энергозатрат, то можно уменьшить общее энергопотребление предприятия и, вследствие этого, увеличить его рентабельность [4]–[7].

Наиболее востребованным является организация систем утилизации теплоты на тех предприятиях, график, работы холодильных машин которых совпадает с потребностью в горячей воде или отоплении, а в идеале на тех производствах, в которых холод вырабатывается постоянно — например, на ледовых аренах [8]–[12].

В процессе эксплуатации холодильной установки выделяют два источника пригодных для утилизации и рекуперации теплоты: использование перегрева сжатого в компрессоре газа и утилизация теплоты конденсации хладагента.

На заключительном этапе холодильного цикла, температура паров хладагента, сжатых в компрессоре, довольно высока, и внедрение дополнительного рекуператора пластинчатого типа позволит обеспечить нагрев теплоносителя, в качестве которого могут выступить вода или, для последующего применения для технологических задач предприятия. Так, при монтаже приточной установки с рекуператором подогретый воздух может использоваться для обогрева помещений в холодное время года. А благодаря внедрению в холодильную схему дополнительного теплообменника, сочетающего в себе функцию аккумулятора, будет подогреваться вода, предназначенная для использования, в зависимости от сферы деятельности предприятия. Так, нагретая с помощью бросового тепла вода часто используется в ледовых аренах для защиты грунта под охлаждаемой плитой от промерзаний, а в холодильных складах применяется для оттаивания камер шоковой заморозки и уборки помещений.

Вторым способом использования теплоты, которая возникает при работе холодильных машин, является утилизация теплоты конденсации хладагента. В отличие от высокопотенциальной теплоты перегрева сжатого

пара, теплота конденсации хладагента является низкопотенциальной, т. е. может обеспечить нагрев теплоносителя максимум до 30 °С, но при утилизации ее можно снять намного больше. Нагретая таким образом вода может использоваться для дальнейшего подогрева до нужной температуры.

Цели исследования

Целью настоящего исследования является разработка схемы утилизации теплоты конденсации систем холодоснабжения ледовых арен и кондиционирования воздуха. Для решения поставленной задачи, необходимо произвести разработку рабочей документации на устройство систем утилизации теплоты конденсации, для снижения зависимости инженерных и технологических систем объектов от городских систем отопления и горячего водоснабжения. Кроме того, разработка схемы позволит значительно снизить тепловую нагрузку на конденсаторы систем холодоснабжения, исключить расход воды на орошение воздушных конденсаторов, которую используют, в настоящее время для снижения давления конденсации и предотвращения аварийной остановки компрессоров системы холодоснабжения ледовой арены.

Результаты исследования

Результатом исследования стала разработка схемы утилизации теплоты конденсации ледовых полей, представленная на рис. 1.

Данная схема предполагает снятие с холодильных машин высокопотенциальной теплоты для нагрева воды в аккумуляторных баках. Количество отводимой теплоты, для одной холодильной машины системы хладоснабжения основной арены составит более 320 кВт и позволит обеспечить нагрев воды в объеме 12 м³ на 20 °С (от температуры 45 °С до 65 °С) менее, чем за час.

Снятие среднеспотенциальной теплоты для нагрева воды в аккумуляторных баках и баках водоподготовки, позволит утилизировать 212 кВт теплоты и снизить потребление энергии, затрачиваемой на нагрев воды для ледозаливочных машин. При этом обеспечивается нагрев воды от 20 °С до 40 °С.

Снятие низкопотенциальной теплоты в количестве 318 кВт позволит обеспечить обогрев ямы снеготаяния. Этого количества теплоты достаточно, чтобы растопить до 3 тонн ледяной стружки, после чего нагреть полученную воду до 20 °С, что позволит снизить нагрузку на конденсаторы. Также предусмотрена система дополнительной фильтрации и водоподготовки, что позволит повторно использовать талую воду в технологическом цикле, что позволит значительно снизить затраты на водоотведение.

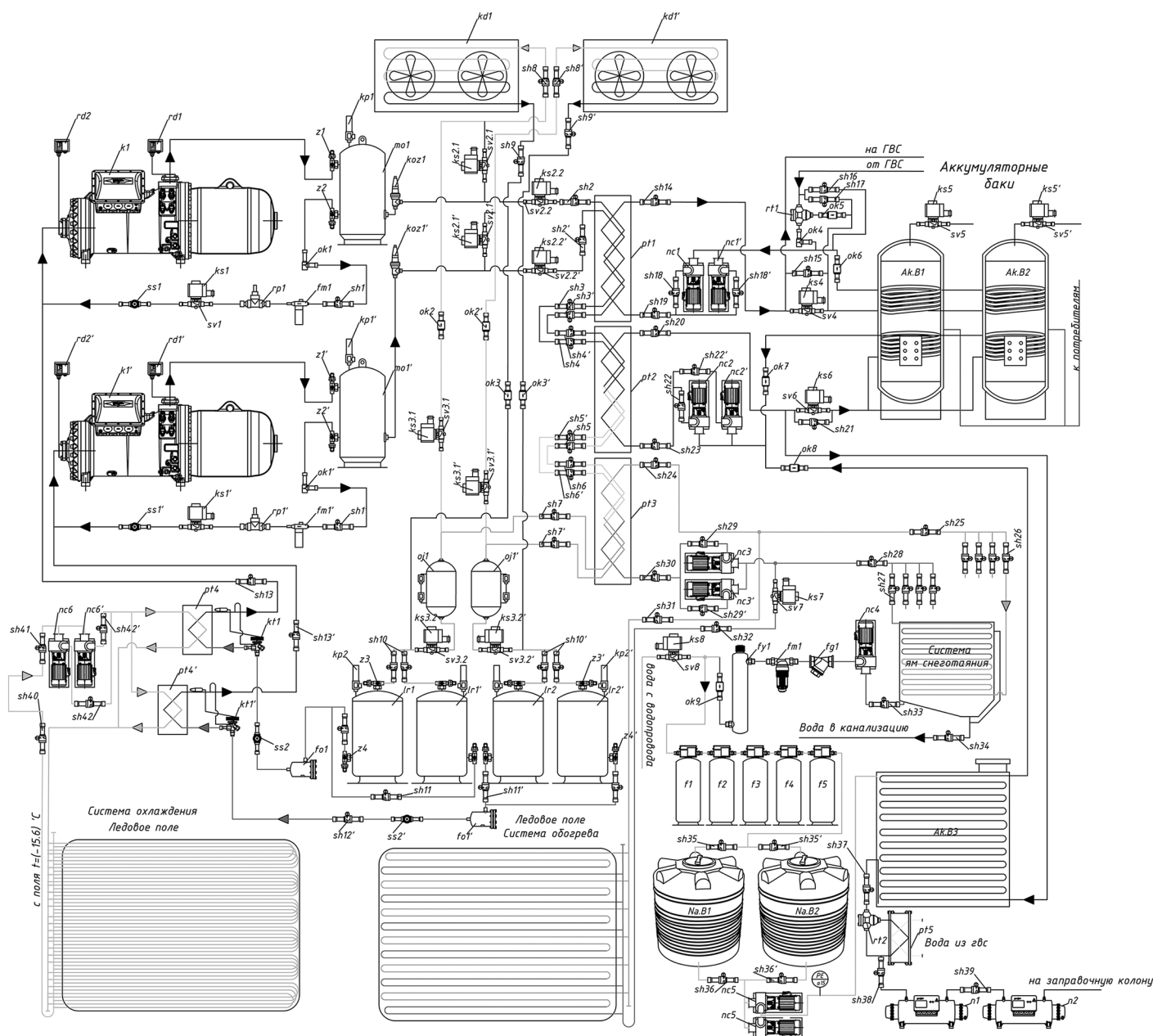


Рис. 1. Схема утилизации теплоты конденсации ледовых полей

Fig. 1. Utilization of condensation heat for ice fields

Графическая схема, показанная на рис. 1, позволяет наглядно проследить принцип работы установки и оценить все внесенные изменения.

Данная система предполагает снятие с холодильных машин высокопотенциальной теплоты для нагрева воды в аккумуляторных баках, снятие среднетенциальной теплоты для нагрева аккумуляторных баков и бака водоподготовки, снятие низкопотенциальной теплоты для обогрева ямы снеготаяния и подогрев ледового поля.

В результате проектирования был произведен конструктивный и тепловой расчет ямы снеготаяния, которая позволяет повторно использовать талую воду в технологическом цикле.

Для внедрения системы утилизации в рабочую установку были произведены расчеты циклов и подбор вспомо-

могательного оборудования: теплообменных аппаратов, аккумуляторных баков, бака водоподготовки, насосов, фильтров грубой и тонкой очистки, а также ультрафиолетового фильтра.

Система хладоснабжения основной ледовой арены имеет две холодильные машины по два компрессора каждая, которая соединена трубопроводами и рядом различной арматуры. С включением электродвигателей компрессоров первой холодильной машины происходит сжатие холодильного агента, после чего через запорные клапана Rotolock он подается в маслоотделители, оборудованные предохранительными клапанами SFV. В маслоотделителях пары холодильного агента отделяются от капель масла, которые проходят через запорные клапана Rotolock, предназначенные для полного пере-

крытия потока рабочей среды с определенной герметичностью; обратные клапана NRV, предназначенные для недопущения изменения направления потока среды в технологической системе; шаровые краны GBC, предназначенные для перекрытия потока внутренней среды и регулирования ее параметров; фильтры очистки масла; реле протока масла; соленоидные клапана EVR с катушками, обеспечивающие прекращение подачи масла, регулировку расхода и температуры рабочего вещества. Масло проходит, смотровые стекла SG и после поступает обратно во всасывающие трубопроводы компрессоров. Пары холодильного агента, проходя через обратные запорные клапана SCA и шаровые вентили GBC, попадают в трехконтурные пластинчатые теплообменные аппараты, где последовательно происходит снятие теплоты для технологических нужд. Снятие высокопотенциальной теплоты в промежуточных теплообменниках происходит за счет термодинамических свойств используемых сред.

В пластинчатом теплообменном аппарате первой ступени происходит снятие высокопотенциальной теплоты. Отведенная высокопотенциальная теплота теплоносителем от фреона подается через шаровой вентиль на теплообменник GBC теплового пункта, а при открытии соленоидного клапана EVR с катушкой теплота используется для нагрева воды в первой секции аккумуляторных баков. Оставшаяся теплота с GBC в зависимости от температуры теплоносителя через регулятор температуры может смешиваться через обратный клапан с потоком высокопотенциальной теплоты, идущей из теплообменника на подогрев в баки, либо отправляться через обратный клапан, минуя их. Регулирование подачи теплоты может осуществляться и в ручном режиме через шаровые вентили. После теплообмена в аккумуляторных баках теплоноситель через обратный клапан подается насосами назад в теплообменник первой ступени. Вода подается в баки из центрального водопровода при открытии соленоидного клапана при температуре от 15 до 20 °C, нагревается до 60 °C и подается потребителям.

В пластинчатом теплообменном аппарате второй ступени происходит снятие среднетемпературной теплоты. Отведенная среднетемпературная теплота с теплоносителем от фреона подается через шаровой вентиль в аккумуляторный бак водоподготовки, а при открытии соленоидного клапана с катушкой теплота используется для нагрева воды во второй секции аккумуляторных баков. После теплообмена во всех аккумуляторных баках теплоноситель через обратные клапана подается насосами назад в теплообменник второй ступени.

Оставшаяся низкотемпературная теплота отводится теплообменником третьей ступени и через шаровой вентиль подается на обогрев ледового поля, а через шаровой вентиль подается в яму снеготаяния. Отведенная низкотемпературная теплота теплоносителем от фреона, поступает через входной коллектор на 4 секции ямы снеготаяния, где используется для плавления льда, который срезается с поля и подается в яму. Полученная таким способом вода нагревается. Отдав свою теплоту, теплоноситель через выходной коллектор и шаровой вентиль откачивается с помощью насосов и подается обратно в промежуточный теплообменник. Также коллектора

могут использоваться для регулирования подачи необходимого количества тепла в яме снеготаяния, путем отключения одной или нескольких секций. После нагрева воды в яме до 20 °C, она откачивается из ямы насосом на водоподготовку через трубопровод, который установлен на 2/3 глубины ямы, чтобы исключить большое попадание загрязнений, которые оседают на дне. Проходя фильтры грубой и тонкой механической очистки, а также ультрафиолетовый фильтр, вода из ямы снеготаяния через обратный клапан добавляется в трубопровод центрального водоснабжения, вода в который подается при открытии соленоидного клапана с катушкой, и вода направляется в систему водоподготовки, имеющуюся на объекте через фильтры, установленные последовательно, где полностью очищается. После системы фильтров подготовленная вода с температурой 20 °C через шаровые вентили поступает в два накопительных бака объемом 3 м³ каждый, создавая необходимый запас воды. Из накопительных баков вода при открытых шаровых вентилях подается насосом в аккумуляторный бак для подготовленной воды объемом 3 м³, где догревается до температуры 60 °C при помощи среднетемпературной теплоты от холодильной машины, и может использоваться в технологическом процессе для заправки ледозаливочных машин. При недостаточном нагреве воды в аккумуляторном баке водоподготовки среднетемпературной теплотой, она, проходя регулятор температуры, догревается при помощи пластинчатого теплообменника, в котором циркулирует вода, идущая с GBC, или минует его, если температура воды 60 °C. Далее поступает через шаровой вентиль (sh38) в электрические водонагреватели, которые включаются и нагревают воду, если она менее 60 °C, до нужной температуры, затрачивая электроэнергию. Оставшаяся вода в яме снеготаяния вместе с осевшими на дно загрязнениями сливается в канализацию при открытии шарового вентиля. Для защиты ямы от перелива сверху ямы предусмотрено отверстие аварийного слива в канализацию.

После пластинчатых теплообменников газожидкостная смесь хладагента через шаровые вентили поступает в отделители жидкости, где отделяется от паров хладагента и сливается в ресиверы, при открытии соленоидного клапана, а пары хладагента поступают в конденсатор через обратные клапаны, где полностью конденсируются и также поступают через обратные клапана в линейные ресиверы, которые предназначены для компенсации разницы в заполнении испарительного оборудования жидким хладагентом при изменении тепловой нагрузки, а также создают равномерный поток жидкого хладагента через фильтры-осушители к терморегулирующим клапанам. Далее холодильный агент в них дросселируется и подается в пластинчатые теплообменные аппараты, где происходит охлаждение хладоносителя, который в свою очередь охлаждает ледовое поле. Обратный поток теплоносителя с поля попадает в пластинчатый теплообменник и доохлаждает хладоноситель, который поступает в систему кондиционирования.

После теплообмена в пластинчатых теплообменных аппаратах холодильный агент проходит шаровые вентили, попадает в компрессора и цикл повторяется. Важно отметить, что холодильная машина может работать при

включении одного или обоих компрессоров в зависимости от требуемой производительности.

Вторая холодильная машина работает аналогичным образом. Обе холодильные машины могут использоваться одновременно или по отдельности.

Закключение

Предложенное схемное решение системы утилизации и повторного использования теплоты конденсации холодильных машин ледовых полей и системы кондиционирования воздуха для снижения зависимости инженерных и технологических систем объектов от городских систем отопления и горячего водоснабжения дает возможность снизить затраты тепловых систем, используемых на объекте.

Литература

1. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. М.: Госстрой России, 2003.
2. Рекомендации по определению поступления теплоты в производственных помещениях. АЗ-1029/ Госстрой России. М.: СантехНИИпроект, 2010. 17 с.
3. СП 31-112-2007. Часть 3. Крытые ледовые арены. Введ. 2007-24-12. М.: Система нормативных документов в строительстве. 2007. 156 с.
4. Особенности подготовки воды для ледовых арен [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.osmos.ru/prom/vodopodgotovka_info/statji/vodopodgotovka_ledovye_aren.html — Дата обращения 1.11.2020.
5. Мокрушин М. Ю. и др. Проектное решение схемы холодильной машины с утилизацией теплоты конденсации // Холодильная техника. 2020. № 6. С. 30–33.
6. Пухкал В. А., Юстус Д. А. Воздухораспределение в помещениях ледовых площадок со зрителями // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 12. С. 7–31.
7. Пинчук О. А., Костко А. Ф., Караван С. В. Комплексонатная водоподготовка в малых водооборотных системах охлаждения // Вестник Международной академии холода. 2020. № 3. С. 3–9.
8. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99. Дата введения 2013-01-01.
9. Водоподготовка для заливки льда [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://diasel.ru/article/vodopodgotovka-dlya-zalivki-lda/> Дата обращения 1.11.2020.
10. Бурдыгина Е. В., Костарева С. Н., Трофимов А. Ю., Федосеева Е. А., Дунюшкин Г. К. Эффективность оборудования систем оборотного водоснабжения // Энергосбережение и водоподготовка. 2019. № 4. С. 11–15.
11. Drzyzga D., Lipok J. Analytical insight into degradation processes of aminopolyphosphonates as potential factors that induce cyanobacterial blooms // Environ SciPollut Res. 2017. V. 24. P. 24364–24375.
12. Kadirov B. M., Ergasheva S. K., Kodirov K. E. Research of the efficiency of complex inhibitors of salt deposition, corrosion and biofouling // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. 2018. No 9–10.

Для использования теплоты перегрева сжатого газообразного холодильного агента в контуре холодильной машины внедряется дополнительный теплообменник, который обеспечивает утилизацию до четверти всего тепла, сбрасываемого в атмосферу установкой, так как температура фреона в конце процесса сжатия может достигать 100 °С и нагревать среду (вода или воздух) до 80–90 °С.

Предложенная система позволяет реализовать отбор холода с холодоснабжения ледовых полей для нужд системы кондиционирования.

Технические решения, представленные в статье, разработаны для малой ледовой арены и Тренировочной арены для хоккея с шайбой, расположенных в олимпийском парке г. Сочи.

References

1. SNiP 41-01-2003. Heating, ventilation and air conditioning. Moscow: Gosstroy of Russia, 2003. (in Russian)
2. Recommendations for determining the heat input in industrial premises. AZ-1029 / Gosstroy of Russia. Moscow: Santechniiproekt, 2010. 17 p. (in Russian)
3. SP 31-112-2007. Part 3. Indoor ice arenas. Introduction. 2007-24-12. Moscow: System of normative documents in construction. 2007. 156 p. (in Russian)
4. Features of water preparation for ice arenas [Electronic resource]. Mode of access: https://www.osmos.ru/prom/vodopodgotovka_info/statji/vodopodgotovka_ledovye_aren.html — date of access 1.11.2020. (in Russian)
5. Mokrushin M. Yu. et al. The design solution of the scheme of the refrigerating machine with utilization of heat of condensation. *Refrigerating equipment*. 2020. No. 6. pp. 30–33. (in Russian)
6. Pukhal V. A., Justus D. A. Air distribution in indoor ice arenas with viewers. Construction of unique buildings and structures. 2015. No. 12. P. 7–31. (in Russian)
7. Pinchuk O. A., Kostko A. F., Karavan S. V. Complexonate water treatment in small water circulation cooling systems. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2020. No 3. p. 3–9. (in Russian)
8. SP 131.13330.2012. Construction climatology. Updated version of SNiP 23-01-99. Date of introduction 2013-01-01. (in Russian)
9. Water treatment for ice filling [Electronic resource]. Mode of access: <https://diasel.ru/article/vodopodgotovka-dlya-zalivki-lda/> Date accessed 1.11.2020. (in Russian)
10. Burdygina E. V., Kostareva S. N., Trofimov A. Yu., Fedoseeva E. A., Dunyushkin G. K. Efficiency of equipment for recycling water supply systems. *Energy saving and water treatment*. 2019. No. 4. p. 11–15. (in Russian)
11. Drzyzga D., Lipok J. Analytical insight into degradation processes of aminopolyphosphonates as potential factors that induce cyanobacterial blooms. *Environ SciPollut Res*. 2017. V. 24. P. 24364–24375.
12. Kadirov B. M., Ergasheva S. K., Kodirov K. E. Research of the efficiency of complex inhibitors of salt deposition, corrosion and biofouling. *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*. 2018. No 9–10.

Сведения об авторах

Короткий Игорь Алексеевич

Д. т. н., профессор кафедры теплотехники Кемеровского государственного университета, 650043, Россия, г. Кемерово, ул. Красная 6, krot69@mail.ru.
ORCID ID: 0000-0003-4379-9652

Неверов Евгений Николаевич

Д. т. н., профессор кафедры теплотехники Кемеровского государственного университета, 650043, Россия, г. Кемерово, ул. Красная 6, neverov42@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-3542-786X

Коротких Павел Сергеевич

Ассистент кафедры теплотехники Кемеровского государственного университета, 650043, Россия, г. Кемерово, ул. Красная 6, korotkix42@gmail.com.
ORCID ID: 0000-0002-4546-0276

Лоншаков Владимир Геннадьевич

Зам. главного инженера департамента спортивных объектов, Образовательный фонд «Талант и успех», Сочи, Адлерский р-н, Олимпийский пр-т, 40, vovkamir@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-3706-8135

Information about authors

Korotkiy Igor A.

D. Sc., Professor of the Department of Thermal Refrigeration, Kemerovo State University, Russia, Kemerovo, 650043, Krasnaya str. 6, krot69@mail.ru.
ORCID ID: 0000-0003-4379-9652

Neverov Yevgeniy N.

D. Sc., Professor of the Department of Thermal Refrigeration, of Kemerovo State University, 650043, Russia, Kemerovo, Krasnaya str. 6, neverov42@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-3542-786X

Korotkih Pavel S.

Assistant of the Department of Thermal Refrigeration, Kemerovo State University, Russia, Kemerovo, 650043, Krasnaya str. 6, korotkix42@gmail.com.
ORCID ID: 0000-0002-4546-0276

Lonshakov Vladimir G.

Deputy Chief engineer of the Department of sports facilities, educational Foundation «Talent and success», Russia, Sochi, Adler district, Olympic ave., 40, vovkamir@mail.ru.
ORCID ID: 0000-0002-3706-8135



7th IIR Conference on Sustainability and the Cold Chain

The IIR conference series on Sustainability and the Cold Chain is recognised as a cutting-edge event on the cold chain which addresses the ever-increasing demand for knowledge-sharing in this essential sector.

This prestigious biennial conference attracts international audiences of researchers and industrialists, providing an opportunity to showcase the latest developments in sustainability, retail refrigeration and the cold chain.

Start date: April 01, 2022

End date: April 30, 2022

Location: Newcastle, United Kingdom

- **Main commissions:** Refrigerating equipment; Cryobiology, cryomedicine; Food science & engineering
- **Themes:** Cold chain, interfaces
- **Keywords:** Cold chain; Sustainability

Organisers:

IOR (Institute of Refrigeration, UK)

Contact:

iccc2020@sciencesconf.org

Official websites:

<https://iifir.org/en/events/7th-iir-conference-on-sustainability-and-the-cold-chain>