

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
ENERGY AND ELECTRICAL ENGINEERING

УДК 621.578: 621.565

DOI: 10.21822/2073-6185-2022-49-4-26-34

Оригинальная статья /Original Paper

**Технические решения по вторичному использованию тепловой энергии
и повышению экологической эффективности инженерных систем**
Е.Н. Неверов¹, И.А. Короткий¹, П.С. Коротких¹, М.Ю. Мокрушин¹, А.Н. Порохнов^{1,2}

¹Кемеровский государственный университет,

¹650000, г. Кемерово, ул. Красная, 6, Россия,

²Дом научной коллаборации имени П.А. Чихачева,

²650000, г. Кемерово, пр-т Советский, 73, Россия

Резюме. Цель. В статье предлагаются проектные решения, направленные на комплексную модернизацию системы хладоснабжения ледового дворца «Шайба» в г. Сочи, для снижения её воздействия на экологию. **Метод.** Создана система повторного использования воды и разработана технология использования низкотемпературного тепла, которое выделяется в процессе эксплуатации холодильной машины. **Результат.** Разработана холодильная установка, которая позволяет утилизировать, аккумулировать и направлять теплоту конденсации для вторичного использования тепловой энергии другими инженерными системами на объекте, тем самым позволяет снизить выбросы тепла и парниковых газов в атмосферу Земли и увеличить технологические возможности охлаждения. **Вывод.** Предложенные методики позволяют произвести необходимые расчеты и подобрать оборудование для внедрения разработанных систем на ледовых аренах.

Ключевые слова: холодильная машина; рекуперация тепла; парниковый эффект; теплопередача; охлаждающая жидкость

Благодарности. Работа выполнена в рамках КНТП полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в области разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», распоряжение правительства от 11.05.2022, N1144-р, мероприятие 13 «Инновационная технология очистки сточных вод на предприятиях по добыче угля открытым способом».

Для цитирования: Е.Н. Неверов, И.А. Короткий, П.С. Коротких, М.Ю. Мокрушин, А.Н. Порохнов. Технические решения по вторичному использованию тепловой энергии и повышению экологической эффективности инженерных систем. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2022; 49(4):26-34. DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-4-26-34

Technical solutions for the recycling of thermal energy and improving the environmental efficiency of engineering systems

E.N.Neverov¹, I.A.Korotkiy¹, P.S.Korotkikh¹, M.Y.Mokrushin¹, A.N.Porokhnov^{1,2}

¹Kemerovo State University,

¹6 Krasnaya Str., Kemerovo 650000, Russia,

² P.A. Chikhachev House of Scientific Collaboration,

²73 Soviet Ave., Kemerovo 650000, Russia

Abstract. Objective. The article proposes design solutions aimed at the comprehensive modernization of the cold supply system of the ice palace "Puck" in Sochi, to reduce its impact on the environment. **Method.** A water reuse system has been created and a technology has been developed for using low-temperature heat that is released during the operation of the refrigeration machine. **Result.**

A refrigeration plant has been developed that allows you to utilize, accumulate and direct the heat of condensation for the secondary use of thermal energy by other engineering systems at the facility, thereby reducing heat and greenhouse gas emissions into the Earth's atmosphere and increasing the technological capabilities of cooling. **Conclusion.** The proposed methods make it possible to make the necessary calculations and select equipment for the implementation of the developed systems in ice arenas.

Keywords: refrigeration machine; heat recovery; greenhouse effect; heat transfer; coolant

Acknowledgment. The work was carried out within the framework of the KSTP of the full innovation cycle "Development and implementation of a set of technologies in the field of exploration and production of solid minerals, ensuring industrial safety, bioremediation, creating new products of deep processing from coal raw materials while consistently reducing the environmental impact on the environment and risks to the life of the population » government order dated 05/11/2022, N1144-r, measure 13 "Innovative technology for wastewater treatment at open-cast coal mining enterprises".

For citation: E.N. Neverov, I.A. Korotkiy, P.S. Korotkikh, M.Y. Mokrushin, A.N. Porokhnov. Technical solutions for the recycling of thermal energy and improving the environmental efficiency of engineering systems. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science. 2022; 49 (4): 26-34. DOI: 10.21822 /2073-6185-2022-49-4-26-34

Введение. Люди привыкли использовать холод для своих нужд, но не все задумываются, что использование искусственного холода наносит вред планете и в основном проявляется в разрушении озонового слоя и парниковом эффекте. Для работы холодильной установки используется хладагент, который сжимается в компрессоре, охлаждается в конденсаторе, расширяется в дроссельном устройстве и испаряется в испарителе. Чтобы получить сжатый газ, приходится сталкиваться с выделением большого количества тепла. Температура газа после сжатия в компрессоре может находиться в широких пределах и достигать 210 °C и выше. Теплота от фреона передается теплоносителю, а он, в свою очередь, за счет теплообмена в конденсаторе отводит теплоту в атмосферу Земли. Также затраты на сжатие требуют много энергии, а, как известно, основным способом ее получения являются тепловые электростанции. В процессе получения энергии на них выделяется очень много углекислого газа, который увеличивает концентрацию в атмосфере. Выброс парниковых газов в окружающую среду, таких как диоксид углерода, метан или водяной пар задерживают инфракрасное излучение от Земли, что в итоге может привести к изменениям климата на Земле [1]. Фреоны, используемые в качестве хладагентов в холодильных установках, приводят к разрушению озонового слоя Земли, так как имеют в своем составе хлор, который, вступая в реакцию, при атмосферных условиях превращает озон в кислород. Исходя из этого, эксперты задаются вопросами, связанными с экологической ситуацией. Все утверждают, что необходимо бережнее относиться к окружающему миру, создавать установки, которые будут соответствовать нормам, но далеко не каждое изобретение можно назвать экологически безопасным. Все холодильные установки, отводя теплоту от охлаждаемого объекта, производят значительное количество тепла, которое передается в атмосферу и, тем самым, не применяется в дальнейшем. Однако использование сбросовой теплоты имеет большой энергетический потенциал, поэтому создание устройств для утилизации тепловой энергии является важнейшей экологической и экономической задачей, решение которой ведется во всех развитых странах мира [2].

Постановка задачи. В последние годы все более актуальным становятся технические решения, позволяющие уменьшить тепловое загрязнение экологии. На различных промышленных предприятиях все чаще ведутся внедрения новых технологий, совершенствуются способы, направленные на вторичное применение энергоресурсов. Применение холодильных установок с утилизацией теплоты актуально, потому что использование утилизации теплоты позволяет сократить выбросы тепла в атмосферу и при этом направить это тепло на использование в других процессах, что в итоге позволит повысить энергоэффективность за счет снижения электроэнер-

гии для этих нужд. Важно отметить, что систему утилизации теплоты можно устанавливать не только на новые установки, но и внедрять на уже запущенные в эксплуатацию [3]. На данный момент бережное обращение с водными ресурсами и переработка воды также в перспективе для многих предприятий, в частности, для ледовых арен, но необходимых систем и готовых решений на рынке существует мало, либо они не затрагивают специфику водопотребления ледовых полей [4].

В дополнение к этому, основное требование, предъявляемое сегодня к хладагентам любых предприятий, использующих искусственный холод – это их экологичность. Переход на современные и озонобезопасные хладагенты является важной задачей в холодильной технике для обеспечения снижения уровня загрязнения планеты.

Методы исследования. В Кемеровском государственном университете совместно с образовательным фондом «Талант и успех» в результате научно-исследовательских и расчетно-аналитических работ была разработана технология утилизации теплоты конденсации систем холодоснабжения ледовых арен и кондиционирования воздуха. В основу этой разработки лег ранее запатентованный прототип парокомпрессионной холодильной установки для эффективной утилизации теплоты конденсации, разработанный кафедрой теплохладотехники. Холодильным агентом является R-507.

Проект выполнен на основе разработки рабочей документации, технического задания заказчика и архитектурно-планировочных чертежей и в соответствии с правилами и нормами по проектированию новых и реконструируемых зданий, сооружений и помещений для различного конькового вида спорта. Положения свода правил распространяются на проектирование ледовых полей с искусственным льдом с замораживаемой (ледяной) поверхностью. А также выполнение проекта предусматривает разработку проектных решений смежных разделов по отоплению, вентиляции воздуха и его кондиционированию, системам теплоснабжения, водоснабжения и канализации с учетом разделов пожарной сигнализации, электроснабжения и силового электро-оборудования, а также действующих на территории РФ норм и правил. В ходе проектировочных работ была проанализирована система хладоснабжения всего ледового дворца, состоящая из четырех винтовых компрессоров CSH 9563-210Y-40D, холодильным агентом которых является R-507. На ее основе была разработана новая принципиальная схема хладоснабжения с учетом различных факторов и возможностью внедрения в нее системы утилизации теплоты [5-6].

В первом разделе было проделано несколько работ по внедрению в существующую холодильную установку ледовой арены системы для утилизации теплоты конденсации и последующее ее использование для технологических нужд. Данный раздел направлен для создания совместной работы систем утилизации теплоты и подготовки воды для заливки льда. Для внедрения системы утилизации в рабочую установку были произведены расчеты согласно разработанной нами методике. Методика включает в себя определение циклов работы холодильной машины, ее параметров, расхода и количества теплоты, которую можно утилизировать с компрессоров, которая также в дальнейшем будет использована для подбора теплообменных аппаратов. Подбор осуществляем по тепловой нагрузке, исходя из полученных расчетов параметров работы холодильной машины [7].

Для выполнения поставленных задач по съему теплоты выбираем пластинчатые трехконтурные теплообменные аппараты AlfaLaval ACH112, которые имеют два контура по фреону и один по воде. Предусматриваем шесть теплообменных аппаратов, устанавливаемых по три штуки на каждую холодильную машину для обеспечения съема теплоты с разных температурных уровней. В целях унификации оборудования на все контуры теплоты выбираем одинаковые теплообменники нагрузкой 200 кВт. Подобранные теплообменные аппараты имеют необходимую площадь теплообменной поверхности и обеспечат требуемый съем теплоты от холодильных машин. Для аккумулирования горячей воды и подачи ее потребителям предусматриваем аккумуляторный бак. Исходя из расчета цикла, количество высокопотенциального тепла от одного компрессора холодильной машины составляет $Q=80$ кВт. Тогда количество отводимой

теплоты для одной холодильной машины системы хладоснабжения арены составит более 320 кВт и позволит обеспечить нагрев воды в объеме 15 м³ на 20 °С (от температуры 45 °С до 65 °С) менее чем за час. Исходя из расчета, были приняты два аккумуляторных бака объемом 7,5 м³ каждый. По полученным данным был сделан вывод, что суммарный принятый объем баков 15 м³ достаточен для обеспечения горячей водой всех потребителей. Использование двух баков, вместо одного, позволяет обеспечить более стабильное и равномерное снабжение потребителей. На рис. 1 представлена схема узла системы утилизации теплоты, состоящая из теплообменных аппаратов, аккумуляторных баков, насосов и запорно-регулирующей арматуры.

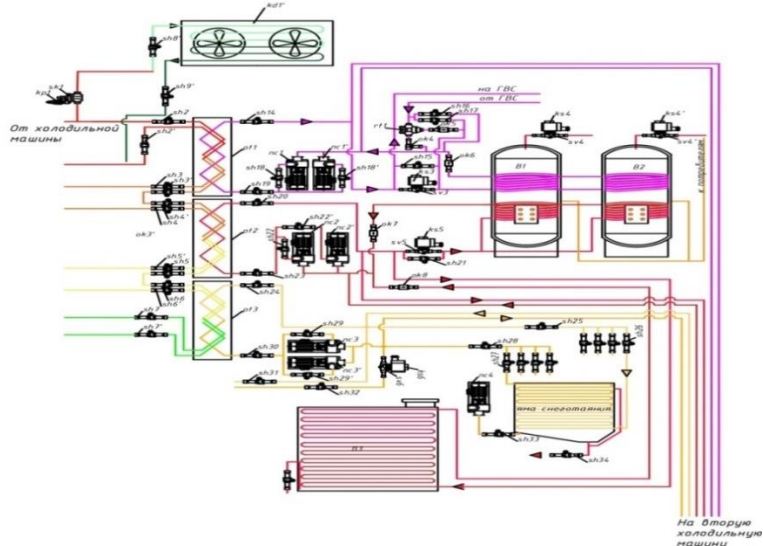


Рис 1. Узел системы утилизации теплоты

Fig. 1. Node of the heat recovery system

Снятие среднетемпературной сбросовой теплоты от хладагента в теплообменном аппарате для аккумулирования теплоты посредством нагрева воды в трех баках позволит утилизировать 212 кВт теплоты и снизить потребление энергии, затрачиваемой на нагрев воды для заливки ледового покрытия. При этом обеспечивается нагрев воды от 20 °С до 40 °С. Для приема избытка этиленгликоля, который образуется при тепловом расширении жидкости необходимо предусмотреть расширительные баки. Данное оборудование необходимо, чтобы свойства теплоносителя не отражались на работоспособности системы утилизации и для предотвращения проблем связанных с разрывом трубопроводов и других элементов. В данной установке были приняты пять расширительных баков объемом 1500 литров. Для повышения энергетической и экологической эффективности ледовой арены, разработанный проект предполагает повторное использование воды, получаемой в результате срезания льда при работе льдозаливочных комбайнов для заливки льда.

Во время работы был спроектирован чертеж ямы снеготаяния и была разработана методика для ее конструктивного и теплового расчета, которая позволяет повторно использовать талую воду в технологическом цикле [8-9]. Методика позволяет подобрать вспомогательное оборудование и рассчитать требуемые конструктивные размеры для применения сбросового тепла для отопления ямы. Предполагается повторное использование воды, получаемой в результате срезания льда при работе ресурсейсеров.

Полученная вода будет использоваться для заливки льда. Таяние ледяной крошки происходит в яме снеготаяния сбросовым низкопотенциальным теплом, снятым системой утилизации от холодильных машин в количестве 318 кВт. Этого тепла хватит, чтобы растопить около трех кубометров ледяной стружки, после чего нагреть полученную воду до 20 °С. Также предусмотрена система дополнительной фильтрации и водоподготовки, показанная на рис. 2, что позволит повторно использовать талую воду в технологическом цикле, что позволит значительно снизить затраты на водоотведение. Принцип работы узлов систем утилизации теплоты и повторного использования воды согласно внесенным изменениям следующий: в первом из трех

пластинчатом теплообменном аппарате (pt1) происходит снятие высокопотенциальной теплоты от компрессоров холодильной машины.

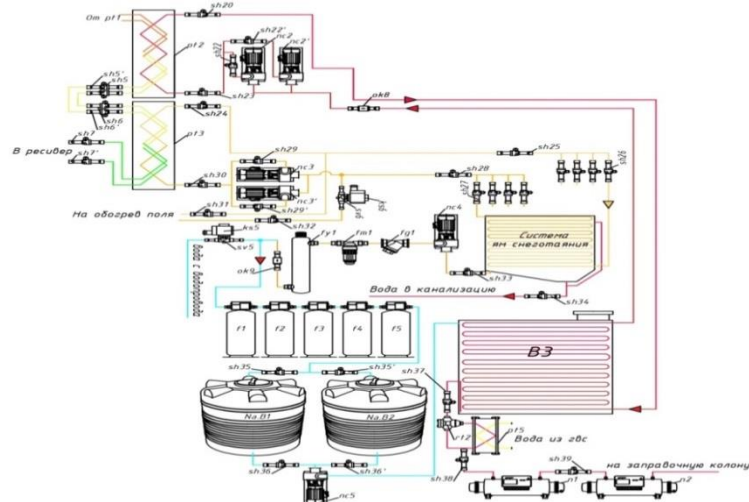


Рис. 2. Узел повторного использования воды

Fig. 2. Water Reuse node

Отведенная высокопотенциальная теплота теплоносителем от фреона подается через шаровой вентиль (sh14) на теплообменный аппарат для горячего водоснабжения и направляется в тепловой пункт, а при срабатывании соленоида (sv4) с катушкой (ks4) теплота подается в первую секцию аккумуляторных баков (Ак.В1, Ак.В2), чтобы нагреть воду. Оставшаяся теплота после теплообмена с теплообменником горячего водоснабжения через регулятор температуры (rt1) смешивается с потоком высокопотенциальной теплоты, проходя через обратный клапан (ok5), исключая обратный ход жидкости, а идущая из теплообменника теплота подается на подогрев в баки, либо отправляется через обратный клапан (ok4), минуя их в зависимости от температуры теплоносителя. Регулирование количества поступающей теплоты осуществляется в автоматическом режиме с помощью соленоидов, но также на схеме предусмотрены шаровые вентили (sh16, sh17), чтобы была возможность изменить режим работы вручную.

После теплообмена в аккумуляторных баках теплоноситель через обратный клапан (ok6) подается насосами (nc1 и nc1') назад в теплообменник первой ступени (pt1), образуя замкнутый независимый контур. Свежая вода поступает в баки из городского водопровода при открытии соленоида (sv5, sv5') с катушкой (ks5, ks5') с температурой от 15 до 20 градусов, нагревается до 60 градусов и направляется на отопление, подогрев системы кондиционирования воздуха и другим потребителям тепловой энергии.

Во втором теплообменнике (pt2) происходит снятие среднетемпературной теплоты. Отведенная среднетемпературная теплота теплоносителем от фреона подается в бак водоподготовки (В3), необходимый для заправки ледозаливочных машин, а при открытии соленоида (sv6) катушкой (ks6) тепло используется для нагрева воды во второй секции аккумуляторных баков (В1, В2). После теплообмена во всех аккумуляторных баках теплоноситель через обратные клапаны (ok7, ok8) подается насосами (nc2 и nc2') назад в теплообменник второй ступени, образуя второй замкнутый независимый контур циркуляции тепла от холодильной машины в аккумуляторный бак. Оставшаяся низкотемпературная теплота отводится теплообменником (pt3) и, проходя шаровой вентиль (sh31), подается на обогрев ледового поля либо через шаровой вентиль (sh25) подает теплоту в яму снеготаяния. В основном низкотемпературная теплота используется для обогрева ямы снеготаяния. Отведенная теплота от фреона поступает через входной коллектор (sh26) на четыре змеевиковых теплообменника в яме снеготаяния, где используется для плавления льда, который срезает с поля и скидывает в яму ледозаливочная машина, а также для последующего нагрева этой воды. Отдав свою теплоту, теплоноситель через выходной коллектор (sh27) и шаровой вентиль (sh28) откачивается с помощью насосов (nc3 и nc3') и подается обратно в промежуточный теплообменник, образуя третий независимый контур циркуляции

теплоты. Также коллектора могут использоваться для регулирования подачи необходимого количества тепла в яму снеготаяния путем отключения одного или нескольких змеевиковых теплообменных аппаратов.

После того, как вода в яме достигнет порядка 20 градусов, то она откачивается из ямы насосом (nc4) на фильтрацию через трубопровод, который установлен на 2/3 глубины ямы, чтобы исключить большое попадание загрязнений, которые оседают на дне. Перед основной фильтрацией вода проходит фильтры грубой (fg1) и тонкой механической очистки (fm1), а также ультрафиолетовый фильтр (fy1), затем эта вода из ямы снеготаяния через обратный клапан (ok9) соединяется с трубопроводом центрального водоснабжения, вода из которого подается при открытии соленоида (sv8) с катушкой (ks8), и направляется в систему водоподготовки через осадочные, ионообменные фильтры и установку обратного осмоса (f1, f2, f3, f4, f5), установленные последовательно, где полностью очищается. После фильтрации подготовленная вода с температурой порядка 20 градусов через шаровые вентили (sh35, sh35') поступает в два накопительных бака (Na.B1, Na.B2) объемом 3 м³ каждый, создавая необходимый запас воды. Из накопительных баков вода при открытых шаровых вентилях (sh36, sh36') подается насосом (nc5) в аккумуляторный бак для подготовленной воды (B3) объемом 3 м³, где догревается до температуры 60 градусов при помощи второго контура циркуляции теплоты от холодильной машины, и может использоваться в технологическом процессе для заправки ресурфейсеров. Если вода не достигает требуемой температуры, то она, проходя регулятор температуры (rt1), догревается при помощи пластинчатого теплообменника (pt5), в котором циркулирует вода из горячего водоснабжения, или минует его, если температура воды 60 градусов. Далее поступает через шаровой вентиль (sh38) в электрические водонагреватели (n1, n2), которые включаются и догревают воду, если она менее 60 градусов, до нужной температуры, затрачивая электроэнергию. Не остался без внимания и вопрос обогрева плиты ледового поля, контур низкопотенциальной теплоты был врезан в существующую систему обогрева поля, тем самым заменил собой горячее отопление. Обогрев поля предназначен для предотвращения промерзания грунта либо для оттайки ледового покрытия, соответственно, его применение будет во время отсутствия заливки льда, тем самым это не повлияет на эффективность таяния ледовой стружки в яме снеготаяния [13-17].

Обсуждение результатов. На основании выполненных расчетов были приняты проектные решения и произведена разработка рабочей документации на устройство систем утилизации теплоты конденсации и подобрано необходимое оборудование. После этого с учетом всех изменений и нововведений на рабочие чертежи планировки здания было нанесено оборудование, необходимое для внедрения системы утилизации в рабочую установку: теплообменных аппаратов требуемой производительности, аккумуляторных баков, бака водоподготовки, насосов, фильтров грубой и тонкой очистки, ультрафиолетового фильтра и запорно-регулирующей арматуры. Была произведена доработка плана компрессорного цеха. Данные материалы о проделанных работах вошли в рабочую документацию проекта в качестве чертежей и пояснительной записки. После проектирования был произведен гидравлический расчет новых и измененных контуров, который позволил определить потери давления в трубопроводе при перемещении жидкости на расстояние, определить оптимальные диаметры трубопроводов и выбрать мощность насосов. Данные этих расчетов позволяют исключить дефицит мощности, запланировать устройство рационального распределения тепла и сэкономить на материалах для монтажа трубопровода.

Таким образом, проектирование и расчет трубопроводов позволил оптимизировать отопительную систему по конструктивности и затратам. На этапе проектирования вентиляции и кондиционирования осуществлен подбор для имеющихся вентиляционных установок теплообменных аппаратов, которые будут способствовать повышению энергоэффективности арены, что приведет к более рациональному потреблению электроэнергии и позволит распределять утилизируемую теплоту от холодильных машин ледового поля на все здание. Это приведет к улуч-

шению климата в помещениях здания. На данный момент на ледовом поле периодически происходит туманообразование, что приводит к ухудшению видимости и снижению климатического комфорта пребывания людей на арене. Для решения технической задачи был подобран 31 стандартный теплообменный аппарат. Данные аппараты будут размещены в подвале, на первом, на втором и на третьем этажах путем внедрения в действующую приточную систему вентиляции после существующих агрегатов согласно техническому заданию. От каждого внедренного теплообменного аппарата предусмотрен отвод конденсата. Конденсат может быть собран в дренажном ресивере для дальнейшего использования для технологических целей, что также приводит к уменьшению водопотребления и канализирования. Также в схему холодильной машины системы кондиционирования внедрен по такой же методике один трехконтурный теплообменный аппарат для снятия теплоты конденсации и подачи ее на тепловой пункт.

Для повышения уровня эффективности, мобильности, повышение оптимизации производственного процесса и освобождения сотрудников от выполнения трудоемких операций вручную была произведена комплексная автоматизация холодильной установки согласно принятым решениям по изменению условий ее работы вследствие модернизации. В системе предусмотрена комплексная автоматизация холодильных машин ледового поля и системы кондиционирования, охватывающая все задачи по контролю, управлению и защите. Помимо этого, разработанная система позволяет рационально использовать воду на объекте, автоматически заполняя баки водой из ямы снеготаяния или водопровода, что позволяет постоянно поддерживать аккумулированное тепло, тем самым сглаживая неравномерности подачи его потребителям. Выполнены все условия интеграции в существующую систему SCADA SimensDesigoInsight 4.1.

Проект и разработка документации производились в соответствии с техническим заданием на проектирование, действующими нормами, правилами и Государственными стандартами РФ. Заложенные в проект решения предусматривают безопасную эксплуатацию системы холодоснабжения при соблюдении действующих межотраслевых правил по охране труда при эксплуатации фреоновых холодильных установок ПОТ РМ 015-2000 [10-12; 18-20].

Анализ состояния ледовой арены в Сочи и изучение проблем, связанных с ее эксплуатацией, позволил предложить основания для модернизации системы хладоснабжения ледового комплекса. Во время работы были разработаны две методики, одна из которых позволяет произвести расчет для системы утилизации теплоты, а другая сделать тепловой и конструктивный расчет ямы снеготаяния необходимой производительности в зависимости от имеющегося сбросового тепла ледового объекта.

Предложенная модернизация холодоснабжения ледовой арены направлена на снижение зависимости инженерных и технологических систем объектов от городских систем отопления и городского водоснабжения. Кроме того, разработанная технология позволит значительно снизить тепловую нагрузку на конденсаторы системы холодоснабжения арены с помощью внедренных промежуточных теплообменников и позволит исключить расход воды, которая используется на данный момент для орошения воздушных конденсаторов для снижения давления конденсации и предотвращения аварийной остановки холодильных машин ледовой арены. Также холодильная машина оснащена возможностью полностью или частично отключать конденсатор из системы при помощи трехходового вентиля, перенаправляя весь поток теплоты, что позволяет полностью минимизировать выбросы тепловой энергии в атмосферу. Холодильная машина позволяет при помощи трехходовых вентилях переключать теплообменники для обеспечения различной температуры конденсации в конденсаторе, тем самым регулируя холодопроизводительность установки в целом. Холодильная машина работает на озонобезопасных фреонах, которые не содержат атомы хлора, что сводит к минимуму потенциал ODP и GWP. Данная установка является экологически чистой, соответствует всем современным требованиям и нормам, снижает концентрацию выбросов тепла и способствует минимизации разрушения озонового слоя и создания парникового эффекта. Установка обеспечивает объект не только искусствен-

ным холодом, но и позволяет использовать выделившееся тепло для различных технологических нужд предприятия, что ведет к значительной экономии в целом. Также проект охватывает области водоотведения и канализирования путем аккумулирования и повторного использования воды. Таким образом, применяя данные решения, уменьшается водопотребление и значительно снижается имеющийся сброс сточных вод, который производит, такой водоемкий объект, как ледовый дворец.

Вывод. Разработана технология повторного использования воды и система утилизации теплоты конденсации. Полученные разработки вошли в проект для ледовой арены «Шайба», которые предполагают создание совместной работы систем утилизации теплоты и подготовки воды для заливки льда.

На основании выполненных расчетов были приняты проектные решения и произведен подбор оборудования на устройство систем утилизации теплоты конденсации и повторного использования воды. Снятие теплоты от холодильных машин позволит в полной мере обеспечить обогрев ямы снеготаяния для плавления льда, а также позволит аккумулировать тепло посредством нагрева воды в установленных баках аккумуляторов. В дополнение к перечисленным мероприятиям, направленным на улучшение энергетических показателей и показателей ресурсоемкости эксплуатации ледовых арен, были комплексно автоматизированы предлагаемые системы и создана рабочая документация. Спроектированная система хладоснабжения обеспечивает утилизацию и транспортировку теплоты различным потребителям тепловой энергии, что повышает энергоэффективность холодильной машины за счет снятия теплоты с теплообменных аппаратов, а также снижает загрязнение окружающей среды в процессе эксплуатации.

Библиографический список:

1. Денисов-Винский Н. Д. Тепло компрессорных установок // МегаПаскаль. 2011. №2. С. 8–16.
2. Бучин С.С., Смагин. Системы утилизации тепла в холодильных установках. Мир климата. 2010. № 62. С.74–77.
3. Пинчук О. А., Костко А. Ф., Караван С. В. Комплексная водоподготовка в малых водооборотных системах охлаждения // Вестник Международной академии холода. 2020. № 3. С. 3–9.
4. Neverov E.N. The project solution of the refrigeration machine scheme with the heat utilization of condensation / E.N. Neverov, I.A. Korotkiy, M Y Mokrushin, I A Prib, D I Goleshov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. V. 941. P. 012055.
5. Короткий И.А. Разработка схемы системы утилизации теплоты конденсации холодильных машин для снижения зависимости ледовой арены от городских систем отопления и горячего водоснабжения / И.А. Короткий, Е.Н. Неверов, П.С. Коротких, В.Г. Лоншаков // Вестник международной академии холода. 2020. №1. С. 34–39.
6. Бондаревич Е. Мониторинг уровня загрязнения атмосферы по накоплению химических элементов в талой воде снежного покрова / Е. Бондаревич, Н. Коцюржинская, О. Лескова, Л. Михайлова, Г. Самойленко // Экология и промышленность России. 2021;25(8):47-53.
7. Короткий И.А., Е.Н. Неверов, И.А. Приб, М.Ю. Мокрушин, Д.И. Голешов, В.Г. Лоншаков. Проектное решение схемы холодильной машины с утилизацией теплоты конденсации. Холодильная Техника. 2020. №6. С. 30-33.
8. СП 31-112-2007. Часть 3. Крытые ледовые арены. Введ. 2007-24-12. М.: Система нормативных документов в строительстве. 2007. 156 с.
9. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. М.: Госстрой России, 2003.
10. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99. (2013-01-01).
11. Guan B. Regeneration energy analysis on desiccant wheel system in curling arena for the Winter Olympics / B.Guan, X. Liu, X. Wang, T. Zhang, Zhou Z.(2022) Building and Environment, 214, статья № 108960, . 2-s2.0-85125723557
12. Tu R., J. Li, Y. Hwang. Performance analysis of desiccant wheels assisted fresh air humidifiers in winter using natural gas boilers: Applied in cold and dry climate regions. International Journal of Refrigeration, 2020; 119: 24-36.
13. Caliskan H. Enhanced thermodynamic assessments of the novel desiccant air cooling system for sustainable energy future / H. Caliskan, D. Lee, H. Hong // (2019) Journal of Cleaner Production, 211, pp. 213-221.
14. Данилов-Данильян В. Методология достоверной оценки качества воды. III. Оценка качества пресной воды в условиях непостоянства контролируемых показателей. / В. Данилов-Данильян, О. Розенталь // Экология и промышленность России. 2022;26(5):44-49.
15. Shakirova G. G. Modern Innovations: Fundamental and Applied Research no 1, S.V. Valtsev, A.S. Kotlova et al (Moskva: ООО «Olimp») 2015. vol 1. pp 6-7.
16. Israphilov D I and Mukhamatdinov I A 2017 Science Yesterday, Today, Tomorrow vol 8 no 42, ed M A Vasinovich, N V Dmitrieva et al (Novosibirsk: ANS «SibAk») pp 58-62.
17. Baranenko A V, Bukharin N N, Pekarev V I, Sakun I A and Timofeevsky L S 1997 Refrigeration Machines (St. Petersburg: Polytechnic) p 499.
18. Neverov E N, Korotky I A, Raschepkin A N and Ibragimov M I 2020 Bulletin of the International Academy of Refrigeration 1(74) pp 22-6.
19. Belsky Y D 2012 Modern Society, Education and Science (Tambov: ООО "Consulting company Ucom") pp 16-7.
20. Neverov E N, Korotkiy I A, Korotkih P S, Lifenceva L V et al 2019 IOP Conf. Series: Earth Environ. Science 224 012039.

References:

1. Denisov-Vinsky N.D. Heat compressor units. *MegaPascal*. 2011. No. 2. pp. 8-16. (In Russ)
2. Buchin S., S. Smagin. Heat recovery systems in refrigeration units. *The world of climate*. 2010; 62:74-77. (In Russ)
3. Pinchuk O.A., Kostko A.F., Karavan S.V. Complexate water treatment in small water circulation cooling systems. *Bulletin of the International Academy of Cold*. 2020; 3: 3-9. (In Russ)
4. Neverov E.N., Korotkiy, M.Y. Mokrushin, I.A. Prib, D.I. Goleshov. The project solution of the refrigeration machine scheme with the heat utilization of condensation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;941: 012055.
5. Korotkiy I.A. Development of refrigerating machines condensation for heat recovery scheme to reduce the dependence of the ice arena on urban heating and hot water supply systems / I.A. Korotkiy, E.N. Neverov, P.S. Korotkiy, V.G. Lonshakov. *Bulletin of the International Academy of Refrigeration*. 2020; 1:34-39. (In Russ)
6. Bondarevich E. Monitoring of the level of atmospheric pollution due to accumulation of chemical elements in snowmelt water / E. Bondarevich, N. Kotsyurzhinskaya, O. Leskova, L. Mikhailova, G. Samoylenko. *Ecology and Industry of Russia*. 2021; 25(8):47-53. (In Russ)
7. Korotkiy, I.A. Design solution to the scheme of a refrigerating machine with condensation heat utilization / I.A. Korotkiy, E.N. Neverov, I.A. Prib, M.Yu. Mokrushin, D.I. Goleshov, V.G. Lonshakov. *Refrigerating Equipment*. 2020; 6: 30-33. (In Russ)
8. Set of rules SP 31 112 2007. Part 3. Indoor ice arenas. Introduction. 2007 24 12. M.: *System of regulatory documents in construction*. 2007. 156 p. (In Russ)
9. Sanitary norms and rules SNiP 41012003. Heating, ventilation and air conditioning. Moscow: *Gosstroy of Russia*, 2003. (In Russ)
10. Set of rules SP 131.13330.2012. Construction climatology. Updated version of sanitary norms and rules SNiP 23 01 99. Date of implementation 2013 01 01. (In Russ)
11. Guan B. Regeneration energy analysis on desiccant wheel system in curling arena for the Winter Olympics / B.Guan, X. Liu, X. Wang, T. Zhang, Z. Zhou. *Building and Environment*, 2022; 214, paper № 108960, 2-s2.0-85125723557
12. Tu R., J. Li, Y. Hwang. Performance analysis of desiccant wheels assisted fresh air humidifiers in winter using natural gas boilers: Applied in cold and dry climate regions. *International Journal of Refrigeration*, 2020; 119: 24-36.
13. Caliskan H. Enhanced thermodynamic assessments of the novel desiccant air cooling system for sustainable energy future / H. Caliskan, D. Lee, H. Hong. *Journal of Cleaner Production*, 2019; 211: 213-221.
14. Danilov-Danilyan V., O. Rosenthal. Methodology of water quality reliable assessment. III. Assessment of fresh water quality under conditions of controlled indicators variability. *Ecology and industry of Russia*. 2022;26(5):44-49. (In Russ)
15. Shakirova G. G. Modern Innovations: Fundamental and Applied Research no 1, S.V. Valtsev, A.S. Kotlova et al (Moskva: ООО «Олимп») 2015; 1(1):6-7.
16. Israphilov D. I. and Mukhamatdinov I. A. Science Yesterday, Today, Tomorrow, ed M A Vasinovich, N V Dmitrieva et al (Novosibirsk: ANS «SibAk») 2017; 8(42): 58-62.
17. Baranenko A V, Bukharin N N, Pekarev V I, Sakun I A and Timofeevsky L S 1997 Refrigeration Machines (St. Petersburg: Polytechnic) p 499.
18. Neverov E N, Korotkiy I A, Raschepkin A N and Ibragimov M I *Bulletin of the International Academy of Refrigeration* 2020;1(74): 22-6.
19. Belsky Y. D. Modern Society, Education and Science (Tambov: ООО "Consulting company Ucom")2012; 16-7.
20. Neverov E N, Korotkiy I A, Korotkiy P S, Lifenceva L V et al 2019 IOP Conf. Series: Earth Environ. Science 224 012039.

Сведения об авторах:

Неверов Евгений Николаевич, доктор технических наук, профессор, зав.каф.техносферной безопасности; neverov42@mail.ru

Короткий Игорь Алексеевич, доктор технических наук, профессор, зав.каф.теплохладотехники; krot69@mail.ru

Коротких Павел Сергеевич, старший преподаватель кафедры теплохладотехники, korotkix42@gmail.com

Мокрушин Максим Юрьевич, магистрант кафедры теплохладотехники, mokrushin99@list.ru

Порохнов Андрей Николаевич, директор, porohnov@yandex.ru

Information about authors:

Evgeny N. Neverov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department of Technosphere Security, neverov42@mail.ru

Igor A. Korotkiy, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department of Heat and Cooling Engineering, krot69@mail.ru

Pavel S. Korotkiy, Senior Lecturer of the Department of Heat and Cooling Engineering, korotkix42@gmail.com

Maxim Y. Mokrushin, Master's student of the Department of Heat and Cooling Engineering, mokrushin99@list.ru

Andrey N. Porokhnov, Director; porohnov@yandex.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 05.10.2022.

Одобрена после рецензирования/ Revised 27.10.2022.

Принята в печать/Accepted for publication 27.10.2022.