



## СИСТЕМА УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ КОНДЕНСАЦИИ ТЕПЛОВЫХ МАШИН

Кондрашов А.В., Тринченко А.А.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург, Россия

kondrashov22@gmail.com

**Резюме:** АКТУАЛЬНОСТЬ исследования заключается в необходимости использования бросового тепла, являющегося побочным продуктом работы энергетических машин для повышения эффективности их работы. На примере внедрения системы утилизации теплоты конденсации и использования ее в системе воздушного отопления, подтверждена возможность полезного использования бросового тепла, вырабатываемого холодильными машинами, используемыми для намораживания ледовой арены спортивного комплекса. ЦЕЛЬ. Разработка системы утилизации теплоты конденсации холодильных машин для использования бросового тепла при организации воздушного отопления. МЕТОДЫ. Исследование инженерных систем на предмет возможности полезного использования низкопотенциального тепла. Организация системы утилизации теплоты конденсации холодильных машин в спортивном комплексе. Установка измерительного стенда, включающего, в том числе, теплосчетчик, тепловычислитель, контроллер передачи результатов замеров на персональный компьютер, проведение необходимых вычислений, их последующая обработка и анализ. РЕЗУЛЬТАТЫ. На объекте с постоянной работой холодильных машин и потребностью в отоплении, внедрена система утилизации теплоты конденсации. Показана возможность внедрения предлагаемой системы без длительного простоя основного оборудования. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Внедрение системы утилизации теплоты конденсации повысило энергетическую эффективность системы, что позволило на 2,6 млн.руб. снизить коммунальные платежи теплоснабжающей организации, а также сократить тепловое загрязнение окружающей природной среды не менее чем на 1,4 ГВт в год.

**Ключевые слова:** энергетическая эффективность; утилизация теплоты; бросовое тепло; коммунальные платежи; воздушное отопление; тепловое загрязнение

**Благодарности:** Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (Грант РФФИ № 20-38-90119\20 от 03.09.2020).

**Для цитирования:** Кондрашов А.В., Тринченко А.А. Система утилизации теплоты конденсации тепловых машин // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2023. Т.25. № 6. С. 67-77. doi:10.30724/1998-9903-2023-25-6-67-77.

## CONDENSATION HEAT RECYCLING SYSTEM FOR HEAT ENGINES

Kondrashov A.V., Trinchenko A.A.

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia  
kondrashov22@gmail.com

**Abstract:** THE RELEVANCE of the research lies in the need to use waste heat, which is a by-product of the operation of energy machines, to increase the efficiency of their operation. Using the example of introducing a system for recovering condensation heat and using it in an air heating system, the possibility of beneficial use of waste heat generated by refrigeration machines used to freeze the ice arena of a sports complex was confirmed. TARGET. Development of a system for recycling the condensation heat of refrigeration machines to use waste heat when organizing air heating of a building. METHODS. Study of engineering systems for the possibility of beneficial use of low-grade heat. Organization of a system for recycling the condensation heat of refrigeration machines in a sports complex. Installation of a measuring

stand, including, among other things, a heat meter, a heat calculator, a controller for transferring measurement results to a personal computer, carrying out the necessary calculations, their subsequent processing and analysis. **RESULTS.** At a facility with constant operation of refrigeration machines and a need for heating, a condensation heat recovery system has been introduced. The possibility of implementing the proposed system without long-term downtime of the main equipment is shown. **CONCLUSION.** The introduction of a condensation heat recovery system increased the energy efficiency of the system, which allowed for 2.6 million rubles. reduce utility bills of the heat supply organization, as well as reduce thermal pollution of the environment by at least 1.4 GW per year.

**Keywords:** energy efficiency; heat recovery; waste heat; communal payments; air heating; thermal pollution.

**Acknowledgments:** This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (RFBR Grant No. 20-38-90119\20 dated September 3, 2020).

**For citation:** Kondrashov A.V., Trinchenco A.A. Condensation heat recycling system for heat engines. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2023; 25 (6): 67-77. doi:10.30724/1998-9903-2023-25-6-67-77.

### **Введение (Introduction)**

В настоящее время, в связи с постоянным ростом цен на энергетические ресурсы, весьма актуальным становится решение вопросов повышения энергетической эффективности технологического оборудования и инженерных систем с одновременным снижением затрат на потребление электроэнергии и тепла. Вопросы регулирования в области энергосбережения являются ключевыми факторами в энергетической стратегии развития РФ, а также Федеральных законах и постановлениях Правительства РФ, таких как 261ФЗ и постановление Правительства РФ №1830-р от 1 декабря 2009 г., в действующих редакциях.

Сравнительный анализ применимости подходов повышения энергетической эффективности в экономике РФ, в сравнении с экономиками промышленно развитых стран показал, что в РФ такой показатель недостаточно высок, что приводит к значительным издержкам энергетического обеспечения. Истощении не возобновляемых источников энергии и увеличение их стоимости для потребителей, делают проблему рационального использования энергоресурсов особенно актуальной.

### **Литературный обзор**

Технологии энергосбережения в холодильных установках в последние годы становятся актуальными для промышленных производств как в России, так и за рубежом. Анализ современного состояния вопроса применения систем с единым контуром тепловых машин [1-2], показал основные преимущества и недостатки использования различных энергоэффективных схем.

1. Схема утилизации теплоты с использованием теплового насоса [3-4]. Преимуществом данной системы, по мнению авторов [5-6], является простота установки и возможность относительно быстрого подключения теплового насоса в существующую систему холодоснабжения, в результате чего возможно получение экономического эффекта в виде сокращения потребления электрической энергии до 72 %, а выбросов углекислого газа – до 53 %. Подбором теплообменников необходимого типоразмера удается достичь оптимальных показателей работы системы утилизации, а использование бросового тепла позволяет снизить нагрузку на конденсатор холодильной машины.

2. Схема холодильной машины с утилизацией теплоты конденсации [6-7]. Рассмотрены режимы работы холодильных машин [8] с системами утилизации бросового тепла (до 40% от общей тепловой мощности конденсатора), образующегося в процессе сжатия холодильного агента до давления конденсации. Рассмотрено предложение использования такого тепла в системе ГВС.

3. Схема утилизации на примере молочного производства [5-6], где требуется большое количество холода для охлаждения сырья (молока) и поддержания заданной температуры в складах хранения готовой продукции. Проанализированы две схемы использования системы утилизации: без дополнительного подогрева и с дополнительным подогревом (водой с высокой температурой). Нагрев воды до требуемых параметров

предлагается с помощью электрических или газовых нагревателей, а также через водонагреватель косвенного нагрева с теплоносителем от котельной.

4. Схема системы утилизации теплоты конденсации холодильных машин [9-10] для снижения зависимости объектов с искусственным намораживанием ледовой поверхности от городских систем отопления и горячего водоснабжения. Представлены возможные положительные результаты применения энергоэффективных схем с использованием бросового тепла для вентиляции и кондиционирования воздуха, снижения доли сторонних источников теплоснабжения и сокращения коммунальных затрат. Рассмотрены пути достижения прогнозируемого экономического эффекта от внедрения предложенных решений.

Рассмотренные схемы предлагается включать как в проекты новых объектов, так и внедрять в уже имеющиеся системы для получения экономического эффекта и повышения энергетической эффективности оборудования [11-12].

**Целью исследования** является повышение эффективности использования энергетических ресурсов (увеличения полноты использования подводимой энергии) в инженерных системах с единым контуром тепловых машин.

Для достижения цели исследования сформулированы и решены следующие задачи:

- выполнен анализ работы действующих инженерных систем и технологического оборудования в СПб ГБУ СШОР по фигурному катанию на коньках, для выявления возможных способов использования низкопотенциального тепла, вырабатываемого холодильными машинами намораживания ледовой поверхности, с целью оптимизации энерготехнологических систем и систем теплоснабжения здания;
- предложена оптимизация схемы утилизации теплоты конденсации путем организации воздушного отопления СПб ГБУ СШОР, выполнено технико-экономическое обоснование предлагаемых решений, определен срок окупаемости;
- внедрение усовершенствованной схемы утилизации теплоты конденсации холодильных машин, позволившее сократить использование тепла, поставляемого теплоснабжающей организацией;
- выполнен анализ фактических затрат до и после внедрения усовершенствованной системы утилизации тепла, а также сравнение его результатов с результатами технико-экономических расчетов.

**Научная значимость** работы заключается в следующем:

- разработана и внедрена на действующем предприятии схема утилизации теплоты конденсации холодильных машин в системе воздушного отопления;
- с установленного измерительного стенда получен объем данных (за период более года), позволивший провести сравнительный анализ фактических затрат до и после внедрения усовершенствованной системы.

**Практическая значимость исследования** определяется тем, что:

- разработана и внедрена эффективная технологическая схема системы утилизации теплоты конденсации холодильных машин, позволяющая использовать бросовое тепло в системе воздушного отопления ледовых арен;
- реализованные технические решения могут быть использованы при проектировании и новом строительстве объектов с постоянной работой холодильных машин, а также для модернизации существующего технологического оборудования без существенных капитальных затрат и длительного срока простоя оборудования.

**Материалы и методы (Materials and methods)**

Анализ работы существующей системы частичной утилизации теплоты конденсации холодильных машин в СПб ГБУ СШОР по фигурному катанию на коньках [9-10], показал следующее. Источником тепла в первом контуре нагрева является теплоноситель, поставляемый теплоснабжающей организацией, а источником тепла во втором – действующая на объекте система утилизации теплоты конденсации холодильных машин (рис. 1). В существующей схеме теплоноситель из форсконденсаторов отбора тепла горячих паров холодильного агента, поступает только в систему кондиционирования воздуха, где полезно не используется в связи с тем, что полностью отказаться от загрузки первого контура кондиционеров (для максимальной загрузки второго контура) нельзя, из-за возможного замораживания теплообменника и срабатывания системы автоматики. В виду этого, воздух попадает на второй контур уже подогретый (выше +25 °С). Максимально загрузить второй контур нагрева также не представляется возможным, т.к. значительное увеличение температуры элементов установки может привести к повреждениям двигателя, подшипников и деталей из синтетических материалов. В тоже время, подвод приточно-вытяжных трубопроводов на ледовые арены выполнен на высоте более 6 метров от уровня

пола (рис. 2), что не позволяет поддерживать установленные параметры микроклимата в соответствии с установленными требованиями:  $+6...+12\text{ }^{\circ}\text{C}$  на уровне 1,5 метров от льда. Таким образом установлено, что система утилизации тепла в СПб ГБУ СШОР практически не используется.

Для увеличения полноты использования бросового тепла предложена модернизация существующей в СПб ГБУ СШОР системы частичной утилизации теплоты конденсации с целью использования низкопотенциального тепла в системе воздушного отопления ледовых арен, элементами которой являются тепловентиляторы (рисунок 3,а), расположенные непосредственно в отапливаемых помещениях на требуемой высоте (рисунок 3,б). Источником тепла в тепловентиляторах до выполнения модернизации, являлись два источника тепловой энергии, в зависимости от отопительного периода. В межотопительный период, источником тепла являлся тепловой насос, а в отопительный – тепло, поставляемое теплоснабжающей организацией. В модернизированной системе в качестве источника тепла в тепловентиляторах, предлагается круглогодичное использование тепла системы утилизации теплоты конденсации холодильных машин.

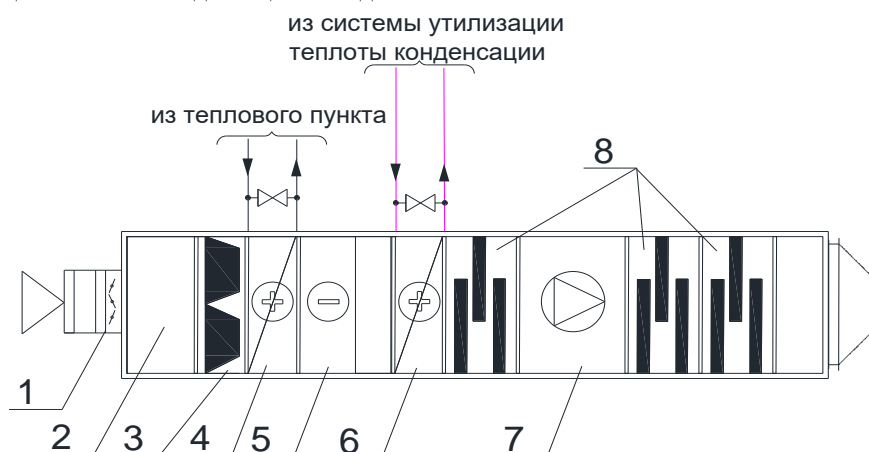


Рис. 1. Кондиционер ледовой арены: 1–воздушный клапан; 2 – секция смешения уличного и внутреннего воздуха; 3 – фильтр ячеистый карманный; 4 – секция первого нагрева от системы отопления; 5 – секция осушки; 6 – секция второго нагрева от системы утилизации теплоты конденсации; 7 – приточный вентилятор; 8 – секции шумоглушения

Fig. 1. Ice arena air conditioner: 1-air valve; 2 - section for mixing street and indoor air; 3 - cellular pocket filter; 4 - section of the first heating from the heating system; 5 - drying section; 6 - section of the second heating from the condensation heat recovery system; 7 - supply fan; 8 - noise reduction sections

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.



Рис. 2. Вентиляционный канал кондиционера K2

Fig. 2. Air conditioner ventilation duct K2

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.



а)

Рис. 3 – Водяной тепловентилятор VOLCANO VR2 (а) и его размещение в помещении СПб ГБУ СШОР по фигурному катанию на коньках (б)



б)

Fig. 3. Water fan heater VOLCANO VR2 (a) and its placement in the premises of the St. Petersburg State Budgetary Institution SSHOR for figure skating (b)

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Технико-экономическое обоснование модернизации системы утилизации теплоты конденсации холодильных машин показало следующее:

- реализация системы утилизации теплоты конденсации позволит на ~70 % сократить долю сторонних источников тепла [12-13];
- увеличение энергетической эффективности собственных инженерных систем возможно достичь без существенных капитальных затрат при минимальных сроках (менее 1 месяца) внедрения и сокращения простоя оборудования [4]:

$$\tau_{ок.} = C_{затрат} / C_{экон.}, \quad (1)$$

где  $\tau_{ок.}$  – срок окупаемости затрат на модернизацию системы, мес.;  $C_{затрат}$  – локально-сметные затраты на модернизацию системы, руб.;  $C_{экон.}$  – общая экономия от внедрения системы с учетом затрат на работу системы, рублей в год. Таким образом:

$$\tau_{ок.} = 115\,131 / 232\,000 \approx 1 \text{ мес.}$$

- эксплуатационные затраты на отопление и электроэнергию от сторонних поставщиков возможно снизить более чем на 2,6 млн. рублей в год [4]:

$$C_{экон.} = C_{тепло.} + C_{тепл.насос}, \quad (2)$$

где  $C_{тепло.}$  – общая расчетная годовая экономия при отказе от использования тепла теплоснабжающей организации, руб./год;  $C_{тепл.насос}$  – экономия при отказе от использования теплового насоса, руб./год. Таким образом:

$$C_{экон.} = 1\,920\,000 + 684\,064 = 2\,604\,064 \text{ руб/год.}$$

- сокращение прямого теплового загрязнения окружающей природной среды не менее чем на 1,4 ГВт в год [14-15]:

$$C_{выбр.} = T_{год.раб.} \cdot Q_{утил.} \cdot K_{исп.тепла}, \quad (3)$$

где  $T_{год.раб.}$  – время работы тепловых машин, ч./год;  $Q_{утил.}$  – время работы тепловых машин, ч./год;  $K_{исп.тепла.}$  – вводится коэффициент использования теплоты конденсации, равный 0,5 из-за невозможности использования системы на 100 %. Таким образом:

$$C_{выбр.} = 6098,4 \times 450 \times 0,5 = 1\,372\,140 \text{ кВт/год.}$$

После технико-экономического обоснования модернизации системы утилизации теплоты конденсации холодильных машин, выполнены её проект и внедрение в СПб ГБУ СШОР (рис. 4) с круглогодичным режимом работы [16]

После модернизации системы, теплоноситель от фторконденсаторов (поз. 3 рис. 4) поступает через установленный вентиль (поз. 10 рис. 4) и трубопроводы (поз. 11 рис. 4) в системы воздушного отопления трех ледовых арен (поз. 11 рис. 4) [14], которые оптимально утилизируют направленное на них тепло, а так же обеспечивают расчетные параметры микроклимата в помещениях, за счет чего появилась возможность полностью отказаться от использования тепла теплоснабжающей организации для воздушного отопления ледовых арен.



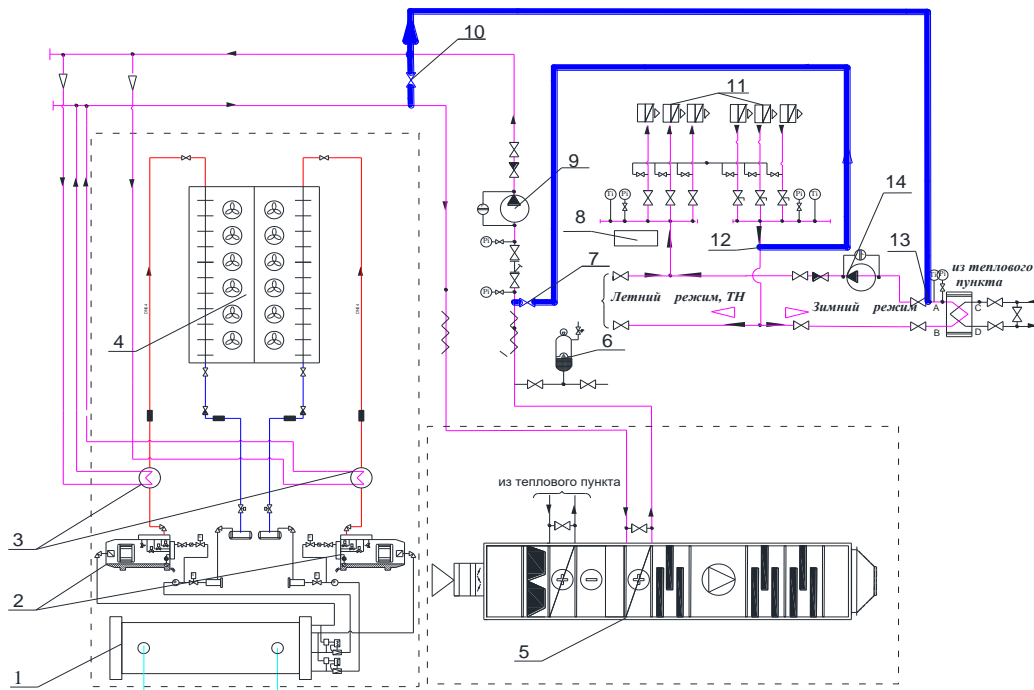


Рис. 4. Гидравлическая схема системы утилизации теплоты конденсации холодильных машин: 1 – испарительно-компрессорный агрегат BE/SMED-BT 2402 (Climaveneta, Италия); 2 – полугерметичные винтовые компрессоры CSH8573-140Y-40D (Bitzer, Германия); 3 – форконденсаторы CPS/S145HR (Alfa Laval, Италия); 4 – воздушные конденсаторы ECA12N9P10C2 (Friga-Bohn, Франция); 5 – кондиционеры K1, K2 (VTS Clima, Польша); 6 – мембранный расширительный бак Reflex N200 (Reflex, Германия); 7, 10 – задвижка чугунная с обрезиненным клином BV GGG50 (HEBEI CENTRAL, Китай); 8 – измерительный стенд; 9 – циркуляционный насос IL50/170-7 (WILO, Германия); 11 – тепловентиляторы VR2 (VOLCANO, Польша); 12, 13 – врезка в трубопроводы; 14 – циркуляционный насос IPL80/140-4/2 (WILO, Германия)

Fig. 4. Hydraulic diagram of the condensation heat recovery system for refrigeration machines: 1 – evaporation-compressor unit BE/SMED-BT 2402 (Climaveneta, Italy); 2 – semi-hermetic screw compressors CSH8573-140Y-40D (Bitzer, Germany); 3 – precapacitors CPS/S145HR (Alfa Laval, Italy); 4 – air condensers ECA12N9P10C2 (Friga-Bohn, France); 5 – air conditioners K1, K2 (VTS Clima, Poland); 6 – membrane expansion tank Reflex N200 (Reflex, Germany); 7, 10 – cast iron valve with rubber-coated wedge BV GGG50 (HEBEI CENTRAL, China); 8 – measuring stand; 9 – circulation pump IL50/170-7 (WILO, Germany); 11 – fan heaters VR2 (VOLCANO, Poland); 12, 13 – insertion into pipelines; 14 – circulation pump IPL80/140-4/2 (WILO, Germany)

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

С целью получения опытных данных для проведения расчетов и анализа результатов, разработан и установлен вычислительный стенд (рис. 5), включающий, в том числе, стационарный теплосчетчик Streamlux-SLS-720FE и тепловычислитель СПТ-940. Данные этих приборов непрерывно записываются и сохраняются на персональном компьютере [16].

Для определения величины полученного экономического эффекта, на входе и выходе из реализованной системы, с помощью приборов вычислительного стенда выполнялся контроль и расчетное определение следующих параметров:

- температуры теплоносителя  $t_1$  ( $t_2$ ), °C (датчиками температуры накладного типа ДТС3225-РТ100, предел допускаемых отклонений  $\pm 0,30$  °C);
- давление теплоносителя на входе и выходе из системы  $P_1$  ( $P_2$ ), МПа (манометрами общетехническими стандартного исполнения ТМ-510Р.00);
- расход теплоносителя:  $V_1$ , м<sup>3</sup> (ультразвуковыми датчиками расхода (2 шт.) ТМ-1-НТ на Ду70-700 мм (диапазон температур:  $-30$  °C... $+160$  °C, предел допустимой относительной погрешности при измерении объемного расхода  $\pm 0,5$  %);
- разность температур на входе и выходе из системы  $\Delta t$ , °C;
- количество потребленного в системе тепла  $Q$ , Гкал.



Рис. 5. Стенд для фиксации параметров работы усовершенствованной системы: 1 – место установки измерительного стенда (поз.8 рис.4); 2 – тепловычислитель СПТ-940; 3 – теплосчетчик Streamlux-SLS-720FE; 4 – датчик температуры накладного типа ДТС3225-PT100; 5 – ультразвуковые датчики расхода ТМ-1-НТ

\*Источник: Составлено авторами. Source: compiled by the author.

Fig. 5. Stand for recording the operating parameters of the improved system: 1 – installation location of the measuring stand (position 8, Fig. 4); 2 – heat meter SPT-940; 3 – heat meter Streamlux-SLS-720FE; 4 – surface-mounted temperature sensor DTS3225-PT100; 5 – ultrasonic flow sensors TM-1-HT

Для определения средней расчетной теплоты потребления в усовершенствованной системе утилизации теплоты конденсации (в системе воздушного отопления), использована следующая зависимость:

$$\sum_0^{24} Q_i = \frac{\sum_0^{24} V_i}{n} \frac{\sum_0^{24} T1_i}{1000} - \frac{\sum_0^{24} T2_i}{n}, \quad (4)$$

где  $\sum_0^{24} Q_i$  – расчетная теплота потребления за период  $i$ ;  $\sum_0^{24} V_i / n$  – среднеарифметическое значение расхода теплоносителя за период  $i$ ;  $\sum_0^{24} T1_i$  – среднеарифметическое значение температуры теплоносителя на выходе из системы за период  $i$ ;  $\sum_0^{24} T2_i$  – среднеарифметическое значение температуры теплоносителя на входе в систему за период  $i$ ; 1000 – коэффициент перевода значений в Гкал.

Результаты работы стенда и записи опытных данных отражаются на диаграммах [16], одна из которых представлена на рис. 6 и иллюстрирует изменение температуры теплоносителя на входе в систему. Изменение параметров за рассматриваемый период позволило сделать вывод о том, что применение системы утилизации теплоты конденсации позволяет стабильно получать теплоноситель с температурой 35...40 °С, что достаточно для воздушного отопления помещений спортивного комплекса и подтверждает возможность отказа от использования тепла теплоснабжающей организации.

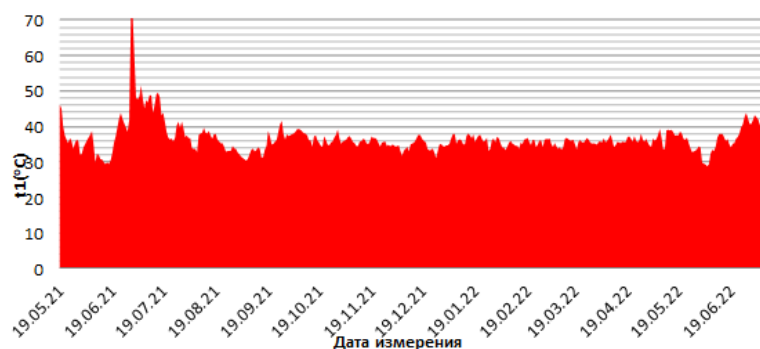


Рис. 6. Изменение температуры прямой воды в системе утилизации теплоты конденсации, по месяцам за рассматриваемый период,  $t_1$  (°С)

\*Источник: Составлено авторами. Source: compiled by the author.

Fig. 6. Change in the temperature of direct water in the condensation heat recovery system, by month for the period under review,  $t_1$  (°C)

Сравнением фактических затрат с результатами технико-экономических расчетов (табл. 1) подтверждено, что реализация проекта позволяет на ~70 % сократить долю сторонних источников тепла. В то же время, увеличение энергетической эффективности собственных инженерных систем достигается без существенных капитальных затрат при минимальных сроках внедрения и сокращении сроков простоя оборудования [16]

Таблица 1

Table 1

Коммунальные затраты на воздушное отопление ледовых арен до и после внедрения системы утилизации теплоты

*Utility costs for air heating of ice arenas before and after the introduction of a heat recovery system*

	Наименование затрат	Затраты, определенные расчетным путем, руб.	Фактические затраты, руб.	Экономия, руб.
До внедрения системы утилизации	Тепло для системы воздушного отопления ледовых арен, полученное от теплоснабжающей организации	1 920 000	1 235 654	0
	Электрическая энергия для теплового насоса системы воздушного отопления	684 064	1 225 565	0
	Итого:	2 604 064	2 461 219	
	Разница между расчетными и фактическими значениями	142 845		
После внедрения системы утилизации	Тепло для системы воздушного отопления ледовых арен, полученное от теплоснабжающей организации	0	0	1 920 000
	Электрическая энергия для теплового насоса системы воздушного отопления	0	0	684 064
	Электрическая энергия для циркуляционного насоса системы воздушного отопления	278 693	278 693	0

\*Источник: Составлено авторами. Source: compiled by the author.

Результаты, представленные в таблице 1 показывают, что затраты, полученные расчётным путем [10] имеют незначительное отклонение от фактических значений (не более 5 %), что подтверждает правильность расчетов и получаемый экономический эффект. Полные данные (за все время проведения исследования), с учетом остановки части холодильных машин в связи с плановой сплавкой двух ледовых арен, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Table 2

Результаты использования бросового тепла в системе воздушного отопления СПб ГБУ СШОР в период с 01.07.2021 – 31.10.2023 гг.

*The results of the use of waste heat in the air heating system of St. Petersburg GBU SSHOR in the period from 07/01/2021 – 10/31/2023.*

Дата получения данных	V1 (м³)	Q (Гкал)	Стоимость 1 Гкал, руб.	Полученная экономия по теплу за период исследования (2 года и 4 мес.), руб.	Средняя экономия по теплу в год, руб.
07.11.23	474 621,36	1 157,41	3 050	3 530 100	1 512 900

Из данных таблицы 2, собранных с модернизированной системы при помощи приборов учета, можно сделать вывод о хорошем совпадении величины экономии с данными технико-экономического обоснования.

Выполнена разработка рекомендаций для эффективного использования системы [12]. В результате выполнения которых (очистка тепловентиляторов от отложений пыли), получен экономический эффект, выражающийся в сокращении затрат на тепловую энергию на 13 % в день, из-за увеличения теплосъема тепловентиляторов.

Одновременно при проведении исследования зафиксировано увеличение энергетической эффективности холодильных машин (ввиду сокращения потребления



электрической энергии в связи с меньшим числом включений осевых вентиляторов на воздушных конденсаторах), что, в свою очередь, положительно отразилось на снижении давления и температуры конденсации холодильного агента. Работа компрессоров холодильных машин на меньшей нагрузке также приводит к снижению потребления электрической энергии, что увеличивает срок полезного использования оборудования при уменьшении межремонтного периода.

Результаты работы подтвердили ожидаемый экономический эффект от внедрения системы утилизации бросового тепла холодильных машин для воздушного отопления ледовых арен спортивного комплекса. Полное исключение теплового загрязнения окружающей среды возможно в случае использования бросового тепла для оттайки снега в яме снеготаяния льдозаливочных комбайнов (в межотопительный период осуществляется вручную за счет горячей воды из ГВС, а в отопительный – за счет радиаторов, находящихся в яме снеготаяния), а также для подогрева грунта от промерзания под ледовыми аренами (в настоящее время данную систему возможно применять только в отопительный период).

#### **Заключение (Conclusion)**

1. Подтверждена применимость разработанной схемы для повышения энергетической эффективности инженерных систем с единым контуром тепловых машин.

2. Реализация предложенной системы утилизации теплоты конденсации позволила примерно на 70 % сократить долю сторонних источников тепла, а увеличение энергетической эффективности собственных инженерных систем достигнуто без существенных капитальных затрат при минимальных сроках внедрения и сокращении простоя оборудования.

3. Сравнительный анализ расчетных и экспериментальных данных до и после внедрения системы, показал снижение эксплуатационных затрат на отопление и электроэнергию от сторонних поставщиков более чем на 2,6 млн. рублей в год, а также сокращение непосредственных тепловых выбросов в окружающую среду не менее чем на 1,4 ГВт в год.

#### **Литература**

1. Симбирев О.В. Перспективы модернизации систем отопления и вентиляции зданий. Colloquium-journal. №13-2(37)-2019. С. 207–208.
2. Лекомцев П.Л., Исупов Р.Ю. Повышение энергоэффективности холодного хранилища / АгроЭкоИнфо. – 2021. № 3(45). DOI 10.51419/20213312.
3. Исупов Р.Ю. Способы регулирования производительности конденсаторов воздушного охлаждения промышленных холодильных установок // Материалы XX Всероссийской научно-практической конференции молодых учёных, аспирантов и специалистов «Молодые ученые – Агропромышленному комплексу Дальнего Востока». – 2020. С. 22-27.
4. Kondrashov, A. Energy conservation and the use of the heat of refrigeration of ice arenas to heat the school of figure skating of St. Petersburg / A. Kondrashov, M. Egorov // Journal of Physics: Conference Series : 5th International Workshop on Heat/Mass Transfer Advances for Energy Conservation and Pollution Control, IWHT 2019, Novosibirsk, 13–16 августа 2019 года. – Novosibirsk: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012063. – DOI 10.1088/1742-6596/1369/1/012063.
5. Короткий И.А., Неверов Е.Н., Приб И.А. и др. Проектные решения схемы холодильной машины с утилизацией теплоты конденсации // Холодильная техника. – 2020. № 6. С. 30-33.
6. Ометова М.Ю., Рыбкина Г.В., Дошлыгин Н.А. Утилизация низкопотенциального тепла от холодильных установок // Объектно-пространственное проектирование уникальных зданий и сооружений : СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ I научно-практического форума «SMARTBUILD», к 100-летию строительного образования в Ивановской области и создания инженерно-строительного факультета Иваново-Вознесенского политехнического института, Иваново, 23–24 ноября 2018 г. – Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет», 2018. С. 176–179.
7. 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: 10.17586/1606-4313-2021-2
8. Марченко А.В., Захаров А.А. Разработка способа по утилизации теплоты от холодильных машин / Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности: Материалы V Международной научно-технической конференции, Чебоксары, 03 декабря 2021 года. – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2021. С. 157-160.

9. Aleksey Kondrashov, Mikle Egorov etc. Comparative efficiency of applying heat pumps within the system of disposal of the condensation heat of heat machines for heating ice arenas. E3S Web of Conferences. Volume 140, Article number 05011 (2019) DOI:10.1051/e3sconf/201914005011

10. Aleksey Kondrashov, Mikle Egorov. Energy conservation and the use of the heat of refrigeration of ice arenas to heat the school of figure skating of St. Petersburg. Journal of Physics: Conference Series. 2019 DOI: 10.1088/1742-6596/1369/1/012063

11 Ильина Т.Н., Феоктистов А.Ю., Мухамедов Р.Ю., Сериков С.В. Способы энергосбережения в системах создания микроклимата // Энергосбережение и экология в жилищно-коммунальном хозяйстве и строительстве городов: Межд. науч.-практ. конф. Белгород, гос. технол. ун.-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. С. 244 – 248.

12 Aleksey.V. Kondrashov, Aleksey A. Trinchenko. Implementation and research of operating parameters of energy-efficient engineering systems with a single circuit of heat engines, 2022 IEEE DOI: 10.1109/REEPE53907.2022.9731451

13 Кондрашов, А.В. Система утилизации теплоты конденсации холодильных машин / А.В. Кондрашов, А.А. Тринченко // Современные технологии и экономика в энергетике : Материалы Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 27 апреля 2022 года. – Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – С. 267-269. – EDN OGIVPM.

14 Kondrashov A.V., Trinchenko A.A. Reducing of the Environment Thermal Pollution by Introducing Energy Efficient Technologies in Engineering Systems // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020, Vladivostok, 06–09 октября 2020 г. – Vladivostok, 2020. – P. 9271312. – DOI 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271312.

15 Солдатов А.И., Скотникова О.Г. Утилизация тепловых выбросов с АЭС – создание энерго-биологического комплекса. Материалы международной студенческой научной конференции "Северное сияние", 1999.

16 Kondrashov, A.; Trinchenko, A. Reducing utility bills through the introduction of energy efficient systems; 2022; Construction of Unique Buildings and Structures; 102 Article No 10202. doi: 10.4123/CUBS.102.2

### Авторы публикации

**Кондрашов Алексей Владимирович** – аспирант высшей школы атомной и тепловой энергетики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, <https://orcid.org/0000-0002-6649-8855>, [kondrashov22@gmail.com](mailto:kondrashov22@gmail.com)

**Тринченко Алексей Александрович** – к-т техн. наук, доцент, доцент высшей школы атомной и тепловой энергетики, института энергетики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, <https://orcid.org/0000-0003-1863-4186>, [trinchenko@spbstu.ru](mailto:trinchenko@spbstu.ru)

### References

1. Simbirev O.V. Prospects for modernizing heating and ventilation systems of buildings. Colloquium-journal. No. 13-2(37)-2019. pp. 207–208.

2. Lekomtsev P.L., Isupov R.Yu. Increasing the energy efficiency of cold storage / AgroEcoInfo. – 2021. No. 3(45). DOI 10.51419/20213312.

3. Isupov R.Yu. Methods for regulating the performance of air-cooled condensers in industrial refrigeration units // Materials of the XX All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Graduate Students and Specialists “Young Scientists - Agro-Industrial Complex of the Far East”. – 2020. pp. 22-27.

4. Kondrashov, A. Energy conservation and the use of the heat of refrigeration of ice arenas to heat the school of figure skating of St. Petersburg / A. Kondrashov, M. Egorov // Journal of Physics: Conference Series: 5th International Workshop on Heat/Mass Transfer Advances for Energy Conservation and Pollution Control, IWHT 2019, Novosibirsk, August 13–16, 2019. – Novosibirsk: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012063. – DOI 10.1088/1742-6596/1369/1/012063.

5. Korotkii I.A., Neverov E.N., Prib I.A. and others. Design solutions for a refrigeration machine with condensation heat recovery // Refrigeration equipment. – 2020. No. 6. P. 30-33.

6. Ometova M.Yu., Rybkina G.V., Doshlygin N.A. Utilization of low-grade heat from refrigeration units // Object-spatial design of unique buildings and structures: COLLECTION OF MATERIALS of the 1st scientific and practical forum “SMARTBUILD”, dedicated to the 100th anniversary of construction education in the Ivanovo region and the creation of the Faculty of Civil Engineering of the Ivanovo-Voznesensk Polytechnic Institute, Ivanovo, November 23–24, 2018 – Ivanovo: Federal State Budgetary

Educational Institution of Higher Education "Ivanovo State Polytechnic University", 2018. pp. 176–179.

7. Korotkii I.A., Neverov E.N., Korotkikh P.S., Lonshakov V.G. Development of a scheme for recycling the heat of condensation of refrigeration machines to reduce the dependence of the ice arena on urban heating and hot water supply systems // Bulletin of the International Academy of Cold. 2021. No. 1. pp. 34–39. DOI: 10.17586/1606 4313 2021 2

8. Marchenko A.V., Zakharov A.A. Development of a method for recycling heat from refrigeration machines / Problems and prospects for the development of energy, electrical engineering and energy efficiency: Proceedings of the V International Scientific and Technical Conference, Cheboksary, December 03, 2021. – Cheboksary: Chuvash State University named after I.N. Ulyanova, 2021. pp. 157–160.

9. Aleksey Kondrashov, Mikle Egorov etc. Comparative efficiency of applying heat pumps within the system of disposal of the condensation heat of heat machines for heating ice arenas. E3S Web of Conferences. Volume 140, Article number 05011 (2019) DOI:10.1051/e3sconf/201914005011

10. Aleksey Kondrashov, Mikle Egorov. Energy conservation and the use of the heat of refrigeration of ice arenas to heat the school of figure skating of St. Petersburg. Journal of Physics: Conference Series. 2019 DOI: 10.1088/1742-6596/1369/1/012063

11. Il'ina T.N., Feoktistov A.Yu., Mukhamedov R.Yu., Serikov S.V. Methods of energy saving in microclimate creation systems // Energy saving and ecology in housing and communal services and urban construction: Int. scientific-practical conf. Belgorod. state technol. univ.-t. – Belgorod: Publishing house BSTU, 2012. P. 244 – 248.

12. Aleksey.V. Kondrashov, Aleksey A. Trinchenko. Implementation and research of operating parameters of energy-efficient engineering systems with a single circuit of heat engines, 2022 IEEE DOI: 10.1109/REEPE53907.2022.9731451

13. Kondrashov, A. V. System for recycling condensation heat of refrigeration machines / A. V. Kondrashov, A. A. Trinchenko // Modern technologies and economics in the energy sector: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, April 27, 2022 . – St. Petersburg: POLYTECH-PRESS, 2022. – P. 267-269. – EDN OGIVPM.

14 Kondrashov A.V., Trinchenko A.A. Reducing of the Environment Thermal Pollution by Introducing Energy Efficient Technologies in Engineering Systems // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020, Vladivostok, October 06–09, 2020 – Vladivostok, 2020. – P. 9271312. – DOI 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271312.

15. Soldatov A.I., Skotnikova O.G. Utilization of thermal emissions from nuclear power plants - creation of an energy-biological complex. Proceedings of the international student scientific conference "Northern Lights", 1999.

16. Kondrashov, A.; Trinchenko, A. Reducing utility bills through the introduction of energy efficient systems; 2022; Construction of Unique Buildings and Structures; 102 Article No. 10202. doi: 10.4123/CUBS.102.2

### Authors of the publication

**Alexey V. Kondrashov** –Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, <https://orcid.org/0000-0002-6649-8855>, [kondrashov22@gmail.com](mailto:kondrashov22@gmail.com)

**Alexey A. Trinchenko** –Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, <https://orcid.org/0000-0003-1863-4186>, [trinchenko@spbstu.ru](mailto:trinchenko@spbstu.ru)

*Шифр научной специальности: 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника*

**Получено**

**16.10.2023 г.**

**Отредактировано**

**10.11.2023 г.**

**Принято**

**07.12.2023 г.**