

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
ENERGY AND ELECTRICAL ENGINEERING

УДК 621.565.83

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-4-17-25



Оригинальная статья /Original article

**Расчет теплоутилизатора с использованием тепловых труб
в системе утилизации тепла вытяжного воздуха**

А.С. Зайцев, М.В. Шамаров, Р.А. Жлобо, Е.О. Ивченко

Кубанский государственный технологический университет,
350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2, Россия

Резюме. Цель. Цель работы заключается в разработке практических рекомендаций для конструирования и изготовления теплоутилизатора с использованием тепловых труб, который мог бы найти массовое применение в системах отопления, вентиляции и кондиционирования на объектах различного назначения. **Метод.** Исследование основано на методах термодинамического анализа, натурного и вычислительного моделирования процессов и объектов холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения. **Результат.** Внедрение исследованных в работе практических рекомендаций по применению и конструктивному исполнению теплоутилизаторов с использованием тепловых труб в системах вентиляции, отопления и кондиционирования воздуха позволит обеспечить значительную экономию энергии, затрачиваемой на обогрев и/или охлаждение воздуха, подаваемого в обслуживаемое системой ОВИК помещение. Для снижения теплопотерь в здании рационально сохранять воздушный баланс и компенсировать вытяжной воздух организованным притоком наружного воздуха, на подогрев которого утилизировать теплоту удаляемого вытяжного воздуха. **Вывод.** По сравнению с теплоутилизатором на основе гликолиевого рекуператора, регенератор с использованием тепловых труб менее энергозатратен, практически не требует обслуживания, а также более энергоэффективен за счёт отсутствия в конструкции требующего затрат электроэнергии насосного устройства. При этом способность к полному разделению приточного и вытяжного потоков вентиляции у регенератора на тепловых трубах сохраняется, что крайне востребовано в медицинских учреждениях из-за необходимости соответствия строгим санитарным нормам.

Ключевые слова: теплоутилизатор, тепловая труба, вентиляция, расчёт, энергоэффективность, кондиционирование, отопление

Для цитирования: А.С. Зайцев, М.В. Шамаров, Р.А. Жлобо, Е.О. Ивченко. Расчет теплоутилизатора с использованием тепловых труб в системе утилизации тепла вытяжного воздуха. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(4):17-25. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-4-17-25

Calculation of a heat exchanger using heat pipes in the exhaust air heat recovery system

A.S. Zaitsev, M.V. Shamarov, R.A. Zhlobo, E.O. Ivchenko

Kuban State Technological University,
2 Moskovskaya St., Krasnodar 350072, Russia

Abstract. Objective. The purpose of the work is to develop practical recommendations for the design and manufacture of a heat exchanger using heat pipes, which could find widespread use in heating, ventilation and air conditioning systems at facilities for various purposes. **Method.** The research is based on methods of thermodynamic analysis, full-scale and computational modeling of processes and objects of refrigeration and cryogenic technology, air conditioning and life support systems. **Result.** The implementation of the practical recommendations studied in the work on the use and design of heat exchangers using heat pipes in ventilation, heating and air con-

ditioning systems will provide significant savings in energy spent on heating and/or cooling the air supplied to the room served by the HVAC system. To reduce heat loss in a building, it is rational to maintain air balance and compensate for the exhaust air with an organized influx of outside air, to heat which the heat of the removed exhaust air is utilized. **Conclusion.** Compared to a heat exchanger based on a glycol recuperator, a regenerator using heat pipes is less energy-intensive, requires virtually no maintenance, and is also more energy efficient due to the absence of a pumping device that requires electricity in the design. At the same time, the ability to completely separate the supply and exhaust ventilation flows of the regenerator on heat pipes is preserved, which is extremely in demand in medical institutions, due to the need to comply with strict sanitary standards.

Keywords: heat exchanger, heat pipe, ventilation, calculation, energy efficiency, air conditioning, heating

For citation: A.S. Zaitsev, M.V. Shamarov, R.A. Zhlobo, E.O. Ivchenko. Calculation of a heat exchanger using heat pipes in the Exhaust air heat Recovery System. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2023; 50(4):17-25. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-4-17-25

Введение. В связи с нарастающим дефицитом источников энергии, которая всё более необходима мировой экономике практически во всех её сферах и отраслях, а также с усилением тренда бережного отношения к окружающей среде, всё большую эффективность приобретают различные методы и технологии, целью которых является наиболее рациональное использование энергии, в том числе и тепловой. Одним из способов более бережливого использования энергии в сферах промышленности, отопления, вентиляции и кондиционирования и т.д. является утилизация тепла.

Теплоутилизаторы подобной конструкции способны конкурировать с аппаратами для утилизации тепла иных, более распространённых конструкций, за счёт отсутствия необходимости частого сервисного обслуживания, относительной простоты и надёжности конструкции в целом, а также за счёт отсутствия капиталоемких и потенциально проблемных элементов в конструктиве теплоутилизатора, таких как частотный преобразователь для вращения (необходимая составляющая роторного регенератора), или насосная группа и система трубопроводов (по сравнению с гликолиевым рекуператором). В то же время конкурентное преимущество в виде возможности полного разделения потоков воздуха в приточно-вытяжной системе сохраняется, что делает теплоутилизатор с использованием тепловых труб одним из возможных решений для применения в медицинских учреждениях, либо цехах технологических производств со строгими требованиями к воздухообмену.

Постановка задачи. Источником теплоты в рассматриваемых системах утилизации является вытяжной выбросной воздух, имеющий в холодный период года в обычных системах вентиляции гражданских и промышленных зданий температуру не выше 20...28 °С. При извлечении утилизируемой теплоты рационально понижать энтальпию выбросного воздуха до параметров, при которых мала вероятность замерзания выпадающей влаги из охлаждаемого вытяжного воздуха в теплоизвлекающем теплообменнике.

Нагрев приточного воздуха в холодный и переходный периоды года в теплоотдающем теплообменнике происходит при постоянном влагосодержании, а утилизация теплоты вытяжного воздуха, как правило, - при конденсации из него влаги.

Методы исследования. Рассмотрим теплоутилизатор состоящий из теплоизвлекающего и теплоотдающего теплообменников и режимов их функционирования в системе утилизации с промежуточным теплоносителем – антифризом:

Исходными заданными являются:

- расход удаляемого вытяжного воздуха $L_y = 9000 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- температура удаляемого воздуха $t_{y1} = 24$;
- энтальпия удаляемого воздуха $i_{y1} = 40 \text{ кДж/кг}$;
- расход проточного наружного воздуха $L_{п.н} = 12000 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Расчетная температура наружного воздуха в холодный период года для г. Краснодар по параметрам Б, согласно СП 131.1330.2020 : $t_{н1} = -15^{\circ}\text{C}$; энтальпия $i_{н1} = -13,3$ кДж/кг. В рабочей зоне помещения поддерживается температура 22°C и относительная влажность 30%. В помещении имеют место тепло- и влагоизбытки, удаление которых в холодный период года требует подачи приточного воздуха с температурой 10°C и энтальпией 11 кДж/кг. На I-d-диаграмму наносятся (рис.1):

- точка В, отвечающая параметрам воздуха в зоне нахождения людей;
- точка $У_1$ отвечающая параметрам удаляемого из верхней зоны актового зала вытяжного воздуха;
- точка $Н_1$, характеризующая параметры воздуха в расчетных условиях холодного периода для г. Краснодар;
- точка $П_н$, характеризующая параметры приточного наружного воздуха, обеспечивающие удаление расчетных тепло- и влагоизбытков из помещения.

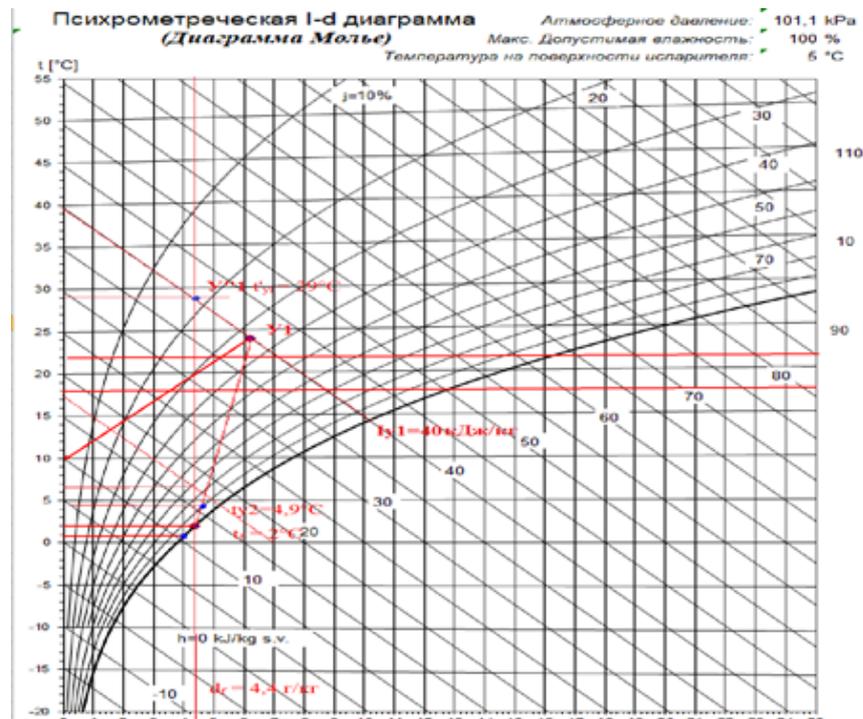


Рис. 1. I-d диаграмма влажного воздуха

Fig. 1. I-d diagram of humid air

На I-d-диаграмме наносится точка f , отвечающая средней рекомендуемой температуре поверхности теплоизвлекающего теплообменника $t_{\phi} = 2^{\circ}\text{C}$. Из построения следует, что температура точки росы удаляемого воздуха равна $7,1^{\circ}\text{C}$ и больше средней температуры поверхности теплоизвлекающего теплообменника 2°C . Это свидетельствует о том, что при извлечении теплоты из вытяжного воздуха будет иметь место процесс его охлаждения с конденсацией влаги.

Определение достигаемых параметров вытяжного воздуха производится построением на I-d-диаграмме, где прямой линией соединяются точки $У_1$ и ϕ . В месте пересечения этой прямой линии с кривой $\phi_{y2} = 88\%$ находится точка $У_2$ с температурой $4,9^{\circ}\text{C}$ и энтальпией 16,8 кДж/кг. На пересечении прямой линии $d_{\phi} = 4,4$ г/кг с энтальпиями i_{y1} и i_{y2} находим точки $У'_1$ (температура $t'_{y1} = 29^{\circ}\text{C}$) и $У'_2$ (температура $t'_{y2} = 6,5^{\circ}\text{C}$), отвечающие режиму условно «сухого» охлаждения вытяжного воздуха при одинаковом перепаде энтальпий $i_{y1} - i_{y2}$. Вычисляем общее количество отводимого в теплоизвлекающем теплообменнике от вытяжного воздуха тепла: $Q_y = 9000 * 1,2 * (40 - 16,8) = 250560$ кДж/ч.

Определяем температуру нагретого в теплоотдающем теплообменнике приточного воздуха:

$$t_{н2} = \frac{250560}{12000 * 1,2 * 1} - 15 = 2,4^{\circ}\text{C}$$

Полученная температура $t_{н2} = 2,4$ °С меньше требуемой температуры приточного наружного воздуха $t_{пн} = 10$ °С. Поэтому необходимо в приточной системе предусмотреть концевой воздухонагреватель, питаемый горячей водой либо электроэнергией.

По рекомендациям, приведенным выше, перепад температур антифриза принимаем $\Delta t_{аф} = 7$ °С. В качестве антифриза используем 35%-ный водный раствор этиленгликоля с температурой замерзания - 20°С, удельной теплоемкостью $C_{аф} = 3,65$ кДж/(кг * °С), массовой плотностью 1045 кг/м³.

По формуле вычисляем требуемый расход теплоносителя - антифриза:

$$G_{аф} = \frac{250560}{7 * 3,65} = 9806 \text{ кг/ч}$$

Находим среднюю температуру антифриза:

$$t_{аф.ср} = 2 - 1 = 1^\circ\text{C}.$$

Определяем температуру подогретого теплоносителя - антифриза после теплоизвлекающего теплообменника:

$$t_{аф1} = 1 + \frac{7}{2} = 4,5^\circ\text{C}$$

Вычисляем температуру охлажденного теплоносителя - антифриза после теплоотдающего теплообменника:

$$t_{аф2} = 1 - \frac{7}{2} = -2,5^\circ\text{C}$$

Определяем требуемые показатели теплотехнической эффективности для теплоотдающего теплообменника:

$$\theta_{т.п.н} = \frac{2,4 + 15}{4,5 + 15} = 0,892$$

Находим требуемый показатель теплотехнической эффективности в условно «сухом» режиме охлаждения для теплоизвлекающего теплообменника:

$$\theta_{т.у} = \frac{29 - 6,5}{29 + 2,5} = 0,714$$

Вычисляем показатели отношения теплоемкости потоков:

- для теплоотдающего теплообменника:

$$W_{пн} = \frac{12000 * 1,21 * 1}{9806 * 3,65} = 0,405$$

- для теплоизвлекающего теплообменника:

$$W_y = \frac{9000 * 1,2 * 1}{9806 * 3,65} = 0,301$$

По графику находим требуемые численные значения критерия F_0 :

- для теплоотдающего теплообменника $F_{0пн} = 3$;

- для теплоизвлекающего теплообменника $F_{0у} = 1,5$.

Вычисляем требуемую величину произведения k_F :

- для теплоотдающего теплообменника:

$$kF_{пн} = \frac{3 * 12000 * 1,21 * 1000}{3600} = 12100 \frac{\text{Вт}}{^\circ\text{C}};$$

- для теплоизвлекающего теплообменника:

$$kF_y = \frac{1,5 * 9000 * 1,2 * 1000}{3600} = 4500 \frac{\text{Вт}}{^\circ\text{C}};$$

Задаемся массовой скоростью воздуха 2,5 кг/(м²·с) и находим требуемое фасадное сечение:

- для теплоотдающего теплообменника: $f_{пн} = \frac{12000 * 1,21}{2,5 * 3600} = 1,613 \text{ м}^2$;

- для теплоизвлекающего теплообменника: $f_{фy} = \frac{9000 * 1,2}{2,5 * 3600} = 1,2 \text{ м}^2$.

Требуемые фасадные сечения обеспечиваются применением двух калориферов $f_{\phi}=0,8*2=1,6\text{ м}^2$. Действительная массовая скорость воздуха в фасадном сечении вычисляется:

$$\text{для теплоотдающего теплообменника: } (V\rho)_{\text{пн}} = \frac{12000*1,21}{3600*1,6} = 2,52 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с});$$

- по выражению (15) для теплоизвлекающего теплообменника:

$$(V\rho)_y = \frac{9000*1,2}{3600*1,6} = 1,875 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}).$$

Оцениваем возможность применения калориферов, вычисляя коэффициент теплопередачи в трехрядных теплообменниках при скорости жидкости в трубках 1 м/с:

- для теплоотдающего теплообменника:

$$K=29*V\rho^{0,455}*w^{0,14} = 29*(2,52)^{0,455}*1^{0,14} = 44,16 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

- для теплоизвлекающего теплообменника:

$$K=29*V\rho^{0,455}*w^{0,14} = 29*(1,875)^{0,455}*1^{0,14} = 38,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Вычисляем требуемые поверхности:

$$\text{для теплоотдающего теплообменника: } F = \frac{kF}{k} = \frac{12100}{44,16} = 274 \text{ м}^2;$$

$$\text{для теплоизвлекающего теплообменника: } F = \frac{kF}{k} = \frac{4500}{38,6} = 117 \text{ м}^2.$$

Применение 2 шт. калориферов обеспечивает развитие наружной поверхности $140 \times 2 = 280 \text{ м}^2$. Сечение трубок в ходу для прохода жидкости в каждом калорифере $0,002 \text{ м}^2$. Принимаем к установке по 1 калорифера в ряду и по 1 последовательно по воздуху. Скорость в трубках будет:

$$W_{\text{аф}} = \frac{G_{\text{аф}}}{\rho*3600*0,002*1} = \frac{9806}{1045*3600*0,002*1} = 1,303 \text{ м}/\text{с}.$$

Что близко к предварительно принятому оптимальному значению скорости, уточнений величин коэффициентов теплопередачи не требуется.

Вычисляем аэродинамическое сопротивление теплообменников:

- по наружному воздуху:

$$\Delta P_{\text{пн}}=7,4*(V\rho)^{1,71}*Z=7,4*(2,52)^{1,71}*1=35,94 \text{ Па};$$

- по удаляемому воздуху:

$$\Delta P_y=7,4*(V\rho)^{1,71}*Z=7,4*(1,875)^{1,71}*1=21,68 \text{ Па}.$$

Как видно из построения, в теплоизвлекающем теплообменнике будет иметь место конденсация влаги, что увеличит его аэродинамическое сопротивление. Для учета этого применим опытный коэффициент 1,35. Тогда действительное аэродинамическое сопротивление в теплоизвлекающем теплообменнике составит:

$$\Delta P'_y=\Delta P_y*1,35=21,68*1,35=29,3 \text{ Па}$$

Из построения на диаграмме следует, что в обслуживаемом помещении в зону нахождения людей приточный наружный воздух должен поступать с температурой $t_{\text{пн}}=10\text{°C}$. По условиям теплового комфорта температура поступающего в зону нахождения людей приточного воздуха не должна более чем на 4°C быть ниже комфортного значения температуры воздуха в зоне обитания, которая для холодного периода года равна 22°C . Тогда по условиям теплового комфорта температура приточного воздуха может быть $t_{\text{пн}} = 22 - 4 = 18\text{°C}$.

Для обеспечения теплового комфорта при воздухораспределении в системе приточной вентиляции используется эжекционный распределитель, в котором благодаря смешению холодного приточного воздуха (точка ПН) и эжектируемого внутреннего воздуха (точка В) обеспечивается повышение температура воздуха до 18°C (точка П).

Применение эжекционного распределителя позволяет экономить энергию на подогреве принятого воздуха. Оценку энергетической эффективности систем утилизации теплоты вытяжного воздуха рационально проводить путем вычисления показателей теплопреобразования и их сравнения для различных технических решений систем:

$$\eta_{\text{ут}} = \frac{Q_y}{\Sigma N_{\text{ут}}} \text{ кВт}/\text{кВт}.$$

Общие затраты электроэнергии $\Sigma N_{\text{ут}}$ кВт, связанные с функционированием системы утилизации, вычисляются в соответствии с принятыми техническими решениями системы по формулам:

- затраты электроэнергии на преодоление аэродинамического сопротивления теплоизвлекающего теплообменника
$$\Delta N_{\text{вн.у}} = \frac{L_{\text{у}} \cdot \Delta P_{\text{у}}}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta_{\text{вн.у}}};$$

- затраты электроэнергии на преодоление аэродинамического сопротивления теплоотдающего теплообменника
$$\Delta N_{\text{вн.н}} = \frac{L_{\text{п.н}} \cdot \Delta P_{\text{п.н}}}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta_{\text{вн.п.н}}};$$

- затраты электроэнергии на функционирование насоса циркуляции теплоносителя – антифриза
$$\Delta N_{\text{нас}} = \frac{G_{\text{а.ф}} \cdot \Delta P_{\text{нас}}}{\rho_{\text{аф}} \cdot 3600 \cdot \eta_{\text{нас}}};$$

где $\eta_{\text{вн.у}}$; $\eta_{\text{вн.п.н}}$; $\eta_{\text{нас}}$ - КПД соответственно вытяжного и приточного вентиляторов, насоса; $P_{\text{нас}}$ - давление насоса на преодоление гидравлических сопротивлений в системе, кПа.

Вычислим затраты электроэнергии на функционирование системы утилизации теплоты вытяжного воздуха, конструктивные элементы и показатели работы которой определены по расчетам в предыдущем разделе. Определяем затраты электроэнергии на преодоление аэродинамического сопротивления теплоизвлекающего теплообменника:

$$\Delta N_{\text{вн.у}} = \frac{9000 \cdot 29,3}{3600 \cdot 1000 \cdot 0,7} = 0,104 \text{ кВт.}$$

Вычисляем затраты на преодоление аэродинамического сопротивления теплоотдающего теплообменника:

$$\Delta N_{\text{вн.н}} = \frac{12000 \cdot 35,94}{3600 \cdot 1000 \cdot 0,7} = 0,171.$$

Расчёт затрат на преодоление гидравлического сопротивления в 120 кПа при перемещении насосом антифриза:

$$\Delta N_{\text{нас}} = \frac{9806 \cdot 54,03}{1045 \cdot 3600 \cdot 0,6} = 0,235.$$

Суммарные затраты электроэнергии:

$$\Sigma N_{\text{ут}} = 0,104 + 0,171 + 0,235 = 0,51 \text{ кВт.}$$

По формуле вычисляем показатель энергетической эффективности применения системы утилизации теплоты вытяжного воздуха при расчетном извлечении теплоты: $Q_{\text{у}} = 250560 \text{ кДж/ч} = 69,6 \text{ кВт}$:

$$\eta_{\text{ут}} = \frac{69,6}{0,51} = 136,47.$$

Обсуждение результатов. Проведенный подбор схемы обвязки трубопроводами теплоизвлекающего и теплоотдающего теплообменников на базе калориферов при их применении в системах утилизации с промежуточным теплоносителем - антифризом выявил следующее:

- сечение ходов калориферов для прохода жидкости мало и не отвечает рациональным условиям обеспечения оптимальных скоростей жидкости при высоких расходах антифриза;
- необходимо рационально использовать калориферы в системах утилизации с промежуточным теплоносителем при их изготовлении двухходовыми по жидкости, что позволит в некоторых моделях калориферов увеличить площадь сечения для прохода жидкости в 2-3 раза;
- использование в системах утилизации двухходовых по жидкости калориферов позволит выполнить обвязку трубопроводов для обеспечения противоточной схемы, а также сократит гидравлическое сопротивление калориферов;
- при реализации противоточной схемы для улучшения отвода конденсата в теплоизвлекающем теплообменнике холодный теплоноситель с температурой $t_{\text{аф2}}$ следует направлять в нижний последний по ходу выбросного воздуха теплообменник, где будет иметь место наиболее интенсивная конденсация влаги.

Вывод. Полученная величина показателя энергетической эффективности выше по сравнению с величиной показателя энергетической эффективности при использовании

холодильных машин в режиме теплового насоса, что говорит о высокой энергетической целесообразности применения систем утилизации теплоты вытяжного воздуха с насосной циркуляцией промежуточного теплоносителя - антифриза.

Для выбора рационального конструктивного решения системы утилизации проводится сравнение по энергетическим показателям нескольких возможных конструктивных решений теплоизвлекающего и теплоотдающего теплообменников и режимов их работы.

Библиографический список:

1. Зайцев А.С. Центральный кондиционер: состав и принцип работы / А.С. Зайцев, М.В. Шамаров // Современные научно-практические решения XXI века: Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 21–22 декабря 2016 года / Общая редакция: В.И. Оробинский, В.Г. Козлов. Том Часть II. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2016. – С. 36-39.
2. Шамаров М.В. Анализ теплопередачи в процессе замораживания и плавления на примере аккумулятора холода из тепловых труб / М.В. Шамаров, А.С. Зайцев // Механика, оборудование, материалы и технологии: Электронный сборник научных статей по материалам третьей международной научно-практической конференции, Краснодар, 29–30 октября 2020 года. – Краснодар: ООО «Принт Терра», 2020. – С. 981-982.
3. Коновалов Н.А. Анализ способа защиты изоляции холодильника от увлажнения / Н.А. Коновалов, А.С. Зайцев, М.В. Шамаров // Механика, оборудование, материалы и технологии: 4 Международная научно-практическая конференция, Краснодар, 25–26 ноября 2021 года. – Краснодар: Общество с ограниченной ответственностью «ПринтТерра», 2021. – С. 510-518.
4. Возможности применения теплонасосных технологий на предприятиях пищевой промышленности / Е.Г. Степанова, Р.А. Жлобо, Б.Ю. Орлов [и др.] // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. – 2022. – № 4. – С. 361-380.
5. Энергосберегающие и экологические аспекты применения теплонасосных установок в процессе экстрагирования сахара / Е.Г. Степанова, М.В. Шамаров, Р.А. Жлобо [и др.] // Экологический Вестник Северного Кавказа. – 2022. – Т. 18, № 4. – С. 47-53.
6. Жлобо Р.А. Расчет постоянных коэффициентов уравнения Ван-дер-Ваальса для дихлордифторметана, применяемого при низкотемпературном хранении пищевых продуктов / Р.А. Жлобо, А.С. Зайцев, М.В. Шамаров // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2022. – № 4(388). – С. 105-110.
7. Зайцев А.С. Технология изготовления полволоконной мембраны на основе полимерных волокон для сепарации газов / А.С. Зайцев, М.В. Шамаров // Механика, оборудование, материалы и технологии: Электронный сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции, Краснодар, 29–30 ноября 2022 года. – Краснодар: ООО «ПринтТерра», 2022. – С. 585-590.
8. Зайцев А.С. Системы противодействия увлажнению изоляции холодильника / А.С. Зайцев, М.В. Шамаров, Ю.С. Беззаботов // Механика, оборудование, материалы и технологии: Электронный сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции, Краснодар, 29–30 ноября 2022 года. – Краснодар: ООО «ПринтТерра», 2022. – С. 558-565.
9. Расчёт испарителя для низкотемпературной сушки свекловичного жома работающем на фреоне r134a / Р.А. Жлобо, М.В. Шамаров, Д.Ю. Цуканов [и др.] // Механика, оборудование, материалы и технологии: Электронный сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции, Краснодар, 29–30 ноября 2022 года. – Краснодар: ООО «ПринтТерра», 2022. – С. 524-535.
10. Перспективные направления переработки и утилизации отходов свеклосахарного производства / Е.Г. Степанова, М.В. Шамаров, Р.А. Жлобо [и др.] // Актуальные проблемы экологии: сборник научных статей, Гродно, 05–06 октября 2022 года / Гродненский государственный университет имени Янки Купалы и др. – Гродно: Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, 2022. – С. 151-153.
11. Патент № 2784632 С1 Российская Федерация, МПК F26B 19/00, F26B 21/04. Сушильная установка: № 2022123153: заявл. 30.08.2022: опубл. 29.11.2022 / Р.А. Жлобо, М.В. Шамаров, Е.Г. Степанова [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет».
12. Беззаботов Ю.С. Математическое моделирование процесса низкотемпературной сушки в установке с регенеративным циклом / Ю.С. Беззаботов, Е.О. Ивченко // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2019. – № 4(370). – С. 79-82. – DOI 10.26297/0579-3009.2019.4.20.
13. Беззаботов Ю.С. Оценка эффективности низкотемпературной сушки на основе энергетического анализа процессов в элементах сушильной установки / Ю.С. Беззаботов, Е.О. Ивченко // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2019. – № 5-6(371-372). – С. 84-86. – DOI

10.26297/0579-3009.2019.5-6.21.

14. Беззаботов, Ю.С. Оценка эффективности низкотемпературной сушки на основе энергетического анализа процессов в элементах сушильной установки / Ю.С. Беззаботов, Е.О. Ивченко // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2020. – № 1. – С. 37-45.
15. Жлобо, Р.А. Зависимость коэффициента сжимаемости этана от давления при различных температурах / Р.А. Жлобо, А.С. Зайцев // Перспективные материалы и высокоэффективные процессы обработки: сборник материалов Всероссийской молодежной конференции, Саратов, 18–19 мая 2022 года. – Саратов: Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., 2022. – С. 73-75.
16. Степанова, Е.Г. Исследование процесса охлаждения рыбы с применением бинарного льда / Е.Г. Степанова, Р.А. Жлобо, И.Е. Трофименко // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2022. – № 3. – С. 262-266. – DOI 10.24412/2311-6447-2022-3-262-266.
17. Жлобо, Р.А. Моделирование процесса холодильного воздействия на пищевые продукты / Р.А. Жлобо, М.В. Шамаров, В.И. Алешин // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023. – Т. 50, № 1. – С. 24-32. DOI 10.21822/2073-6185-2023-50-1-24-32.
18. Моделирование процесса размораживания мороженого для оптимизации его перевозки / Р.А. Жлобо, М.В. Шамаров, Е.Г. Степанова, Б.Ю. Орлов // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2023. – № 1. – С. 183-187. – DOI 10.24412/2311-6447-2023-1-183-187.
19. Патент № 2798054 С1 Российская Федерация, МПК С13В 10/00, F25В 30/00. Свеклоперерабатывающее отделение с колонным диффузионным аппаратом: № 2023104050: заявл. 22.02.2023; опубл. 14.06.2023 / М. В. Шамаров, Е. Г. Степанова, М. А. Печерица [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет».
20. Степанова, Е.Г. Приборы и техника низкотемпературных систем / Е.Г. Степанова, Б.Ю. Орлов, Р.А. Жлобо. – Краснодар: Кубанский государственный технологический университет, 2021. – 292 с. – ISBN 978-5-8333-1086-1.
21. Степанова, Е. Г. Тепловые насосы / Е. Г. Степанова, Р. А. Жлобо. – Краснодар: Кубанский государственный технологический университет, 2023. – 92 с.

References

1. Zaitsev A.S., Shamarov M.V. Central air conditioner: composition and principle of operation. Modern scientific and practical solutions of the XXI century: Proceedings of the international scientific and practical conference, Voronezh, December 21–22, 2016. General editorial board: V.I. Orobinsky, V.G. Kozlov. Volume Part II. Voronezh: Voronezh State Agrarian University. Emperor Peter I, 2016; 36-39. (In Russ)
2. Shamarov M.V, Zaitsev A.S. Analysis of heat transfer during freezing and melting on the example of a cold accumulator from heat pipes. Mechanics, equipment, materials and technologies: Electronic collection of scientific articles based on the materials of the third international scientific and practical conference, Krasnodar, October 29–30, 2020. - Krasnodar: Print Terra LLC, 2020; 981-982. (In Russ)
3. Konovalov N.A. Analysis of the way to protect the insulation of the refrigerator from moisture / N.A. Konovalov, A.S. Zaitsev, M.V. Shamarov. Mechanics, equipment, materials and technologies: 4th International scientific and practical conference, Krasnodar, November 25–26, 2021. - Krasnodar: PrintTerra Limited Liability Company, 2021; 510-518. (In Russ)
4. Possibilities of using heat pump technologies at food industry enterprise/ E.G. Stepanova, R.A. Zhlobo, B.Yu. Orlov[et al.] *Bulletin of the Kerch State Marine Technological University*. 2022; 4:361-380. (In Russ)
5. Energy-saving and environmental aspects of the use of heat pump installations in the process of sugar extraction. E.G. Stepanova, M.V. Shamarov, R.A. Zhlobo [and others]. *Ecological Bulletin of the North Caucasus*. 2022;18(4):47-53. (In Russ)
6. Zhlobo R.A. Calculation of constant coefficients of the van der Waals equation for dichlorodifluoromethane used in low-temperature food storage. R.A. Zhlobo, A.S. Zaitsev, M.V. Shamarov. *News of higher educational institutions. Food technology*. 2022; 4 (388): 105-110. (In Russ)
7. Zaitsev A.S., M.V. Shamarov. Manufacturing technology of hollow fiber membrane membranes based on polymeric fibers for gas separation. *Mechanics, equipment, materials and technologies: Electronic collection of scientific articles based on the materials of the international scientific and practical conference*, Krasnodar, November 29–30, 2022. - Krasnodar: PrintTerra LLC, 2022; 585-590. (In Russ)
8. Zaitsev A.S. Systems for counteracting dampening of refrigerator insulation / A.S. Zaitsev, M.V. Shamarov, Yu.S. Bezzabotov. Mechanics, equipment, materials and technologies: Electronic collection of scientific articles based on the materials of the international scientific and practical conference, Krasnodar, November 29–30, 2022. - Krasnodar: PrintTerra LLC, 2022; 558-565. (In Russ)
9. Calculation of the evaporator for low-temperature drying of beet pulp operating on freon r134a / R.A. Zhlobo, M.V. Shamarov, D.Yu. Tsukanov [et al.] *Mechanics, equipment, materials and technologies: Electronic collection of scientific articles based on the materials of the international scientific and practical conference*,

- Krasnodar, November 29–30, 2022. - Krasnodar: PrintTerra LLC, 2022; 524-535. (In Russ)
10. Perspective directions of processing and utilization of beet sugar production / E.G. Stepanova, M.V. Shamarov, R.A. Zhlobo [and others] Actual problems of ecology: a collection of scientific articles, Grodno, October 05–06, 2022 / Yanka Kupala State University of Grodno and others - Grodno: Yanka Kupala State University of Grodno, 2022; 151 -153. (In Russ)
 11. Patent No. 2784632 C1 Russian Federation, IPC F26B 19/00, F26B 21/04. Dryer: No. 2022123153: Appl. 08/30/2022: publ. 11/29/2022 / R.A. Zhlobo, M.V. Shamarov, E.G. Stepanova [and others]; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kuban State Technological University”.
 12. Bezzabotov Yu.S. Mathematical modeling of the process of low-temperature drying in an installation with a regenerative cycle / Yu.S. Bezzabotov, E.O. Ivchenko. *News of higher educational institutions. Food technology*. 2019; 4 (370): 79-82. – DOI 10.26297/0579-3009.2019.4.20. (In Russ)
 13. Bezzabotov Yu.S. Evaluation of the efficiency of low-temperature drying based on the energy analysis of processes in the elements of a drying installation / Yu.S. Bezzabotov, E.O. Ivchenko. *News of higher educational institutions. Food technology*. 2019;5-6 (371-372):84-86. – DOI 10.26297/0579-3009.2019.5-6.21.
 14. Bezzabotov Yu.S. Evaluation of the efficiency of low-temperature drying based on the energy analysis of processes in the elements of a drying installation / Yu.S. Bezzabotov, E.O. Ivchenko. *Electronic network polythematic journal “Scientific works of KubGTU”*. 2020; 1: 37-45. (In Russ)
 15. Zhlobo, R.A. Dependence of the compressibility coefficient of ethane on pressure at different temperatures / R.A. Zhlobo, A.S. Zaitsev. Promising materials and highly efficient processing processes: collection of materials of the All-Russian Youth Conference, Saratov, May 18–19, 2022. Saratov: Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin, 2022; 73-75. (In Russ)
 16. Stepanova E.G. Investigation of the fish cooling process using binary ice / E.G. Stepanova, P.A. Zhlobo, I.E. Trofimenko. *Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products*. 2022; 3:262-266. – DOI 10.24412/2311-6447-2022-3-262-266. (In Russ)
 17. Zhlobo, R.A. Modeling of the process of refrigeration effects on food products / R.A. Zhlobo, M.V. Shamarov, V.I. Aleshin. *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science*. 2023;50(1): 24-32. – DOI 10.21822/2073-6185-2023-50-1-24-32. (In Russ)
 18. Modeling the process of defrosting ice cream to optimize its transportation / R.A. Zhlobo, M.V. Shamarov, E.G. Stepanova, B.Yu. Orlov. *Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products*. 2023; 1:183-187. – DOI 10.24412/2311-6447-2023-1-183-187. (In Russ)
 19. Patent No. 2798054 C1 Russian Federation, IPC C13B 10/00, F25B 30/00. Beet processing department with a column diffusion apparatus: No. 2023104050: Appl. 02/22/2023: publ. 06/14/2023 / M. V. Shamarov, E. G. Stepanova, M. A. Pecheritsa [and others]; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kuban State Technological University”.(In Russ)
 20. Stepanova E.G. Devices and technology of low-temperature systems / E.G. Stepanova, B.Yu. Orlov, R.A. Redneck. - Krasnodar: Kuban State Technological University, 2021; 292. – ISBN 978-5-8333-1086-1. (In Russ)
 21. Stepanova E. G., Zhlobo R. A. Heat pumps. - Krasnodar: Kuban State Technological University, 2023; 92. (In Russ)

Сведения об авторах:

Артём Сергеевич Зайцев, аспирант, кафедра технологического оборудования и систем жизнеобеспечения; tanketka.2013@mail.ru

Шамаров Максим Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологического оборудования и систем жизнеобеспечения; schmax@mail.ru

Жлобо Руслан Андреевич, старший преподаватель, кафедра технологического оборудования и систем жизнеобеспечения; Rzhlobo@bk.ru; ORCID 0000-0003-2568-2872

Ивченко Екатерина Олеговна, аспирант, кафедра технологического оборудования и систем жизнеобеспечения; ekaterina_93123@mail.ru.

Information about authors:

Artyom S. Zaitsev, Graduate student, Department of Technological Equipment and Life Support Systems; tanketka.2013@mail.ru

Maksim V. Shamarov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Assoc. Prof., Department of Technological Equipment and Life Support Systems; Schmax@mail.ru

Ruslan A. Zhlobo, Senior Lecturer, Department of Technological Equipment and Life Support Systems; Rzhlobo@bk.ru; ORCID 0000-0003-2568-2872

Ekaterina O. Ivchenko, Graduate student, Department of Technological Equipment and Life Support Systems;; ekaterina_93123@mail.ru.

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 09.10.2023.

Одобрена после рецензирования Revised 29.10.2023.

Принята в печать/ Accepted for publication 29.10.2023.