

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»  
Институт энергетики

**ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА**

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ  
VII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

7-9 декабря 2022 года

*Конференция проводится в рамках Десятилетия науки и технологий в Российской Федерации*

**Кемерово 2023**

© КузГТУ, 2023

ISBN 978-5-00137-000-0

## СЕКЦИЯ №1. ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

101. Абрамов И.Л. Расчет виброакустических характеристик промышленного оборудования
102. Абрамов И.Л. Акустические характеристики очистного комбайна
103. Аверьянова А.А., Ваньков Ю.В. Оценка энергоэффективности предприятий посредством пинч-анализа
104. Азнабаева А. А., Кондратьев А.Е. Особенности применения геотермальной энергии
105. Андросов К.А., Колисниченко В.Н. Возобновляемые источники энергии
106. Байбасарова А.Р., Умыржан Н.Н., Степанова О.А. К вопросу эффективности применения современных теплоизоляционных материалов
107. Беляев Р.А., Удалов С.Н. Водородное аккумулирование энергии в системах возобновляемой энергетики
108. Беляева Д.А. Прикладная апробация моделей полей кавитационного реактора
109. Биктимиров Р.Р., Гибадуллина Х.В. Водородные топливные элементы. Конструкции, материалы
110. Бубнов К.Н., Жуков В.П. Анализ параметрической чувствительности математической модели паровой турбины
111. Булавка Ю.А., Юшкевич А.С. Переработка отходов теплоэнергетики в битумные материалы
112. Буранов И.У. Гидроаккумулирующие электрические станции, как показатель развития энергосистемы
113. Бусько Н.А. Лопасты ветряных турбин как экологическая проблема чистой энергетики
114. Варганова А.М., Закиров Р.Н. Проектирование и сравнение систем отопления в жилом многоквартирном доме
115. Вилисов Н.Д., Горина В.З., Ушаков К.Ю., Темникова Е.Ю. К определению погрешности результатов экспериментов по пиролизу резинотехнических отходов
116. Высоцкий М.Э., Вершинин А.С., Грозберг Ю.Г. Устройство прямого преобразования механической энергии в тепловую
117. Гаврилин В.В., Сорокин К.С. Анализ и расчет эффективности энергетической установки на топливном элементе
118. Галимова А.Р., Гапоненко С.О. Виброакустический метод контроля оценки технического состояния трубопроводных транспортов
119. Гатаулина И.М., Кондратьев А.Е. Диагностика трубопроводов методом вибрационных колебаний
120. Герасимов В.А. Рециклинг и преобразование отходов в энергию в условиях Крайнего Севера
121. Gilyazov A.I., Gilyazieva G.Z. Modern ways to reduce energy costs for heating, air-conditioning and ventilation
122. Глухова П. Е., Кондратьев А.Е. Тепловые насосы
123. Гордеев А.А., Кубляков В.С., Семеновский В.Б., Маренина Л.Н. Создание трёхмерной модели проточной части лабораторной установки осевого вентилятора на основе 3D сканирования, CFD-расчёт течения газа на рабочем режиме
124. Даутов Р.Р., Кондратьев А.Е. Высокоэффективные отопительные системы с использованием различных видов тепловых насосов
125. Дмитриева А.В., Танеева А.В., Новиков В.Ф. Контроль содержания примесей фенолов в поверхностных водах реки Волга хроматографическими методами с использованием новых сорбционных материалов
126. Дробышев В.К., Романова В.А., Кузнецова Е.С. Повышение энергоэффективности котельного агрегата паросиловой установки
127. Дьякова А.К., Беловодский Е.А. Использование биомассы как альтернативного источника энергетики
128. Жабалова Г.Г., Онищенко О.Н., Камарова С.Н., Леликова О.Н. Возможность реконструкции системы золошлакоудаления на котлах ТП-81 ТЭЦ-2 АО «Арселормиттал Темиртау»
129. Живоглазова Ю.В., Конева С.Е., Капишников А.В. Использование альтернативных видов топлива в энергетике на примере ТБО
130. Жуйков А.В., Землянский Н.А. Анализ взаимосвязи углей разной степени метаморфизма и биомассы при совместном горении
131. Захарова Е.В., Зиятдинов А.А., Сафаров И.М., Сафин М.А. Анализ перспективы и возможностей импортозамещения на объектах нефтеперерабатывающих промышленности
132. Зиновьева А.С., Ледуховский Г.В. Методика сведения материального и энергетического балансов при расчете технико-экономических параметров ГТУ
133. Иванов А.В. Повышения эффективности солнечной электростанции в условиях севера
134. Ivanov D. V., Nazarova I.P. The use of biogas in the modern world.
135. Кагарманов Т.У., Березко А.А., Пташкина-Гирина О.С. Перспективы утилизации низкопотенциальной тепловой энергии
136. Казбакова И.Р., Назарова И.П. Способы утилизации углекислого газа в выбросах газовой турбины
137. Кариева Л.И., Лаптева Е.А. Повышение эффективности работы системы воздухообмена на предприятии
138. Кариева Л.И., Назарова И.П. Compressed air
139. Каримова А.М., Юлдошов Б.А. Исследование оптимального способа воздушного охлаждения фотоэлектрического батарея
140. Касимов И.К., Александров Ю.Б. Исследование температурного состояния стенок жаровой трубы
141. Качан С.А. Эволюция газотурбинной установки GT26 последовательного сжигания

УДК 621.577

Р.Р. ДАУТОВ, студент гр. ПТСм-1-21 (КГЭУ)  
Научный руководитель А.Е. КОНДРАТЬЕВ, к.т.н., доцент (КГЭУ)  
г. Казань

## **ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ОТОПИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ**

Сжигание ископаемого топлива является главной проблемой использования традиционных способов теплоснабжения из-за процессов нагрева, сильного первичного потребления энергоресурсов, негативного влияния загрязняющих веществ на окружающую среду. В отдаленных районах, труднодоступных для подвода магистрали применение системы газоснабжения экономически нецелесообразно. Основной проблемой замены привычного способа отопления на электрическое являются большие затраты электроэнергии. Чтобы удовлетворить потребность в углеродной нейтральности в отопительной отрасли и решить проблему с труднодоступностью к газовым магистралям всё чаще прибегают к использованию тепловых насосов (ТН). Они рекомендуются для замены котлов, потребляющих первичную энергию. Применение ТН дает возможность не только использовать низкопотенциальные природные источники, но также и восстанавливать отработанное тепло промышленных процессов в случае их внедрения в предприятия. Тепловые насосы повышают эффективность использования энергии, сокращают использование ископаемого топлива и тем самым уменьшают выбросы углекислого газа [1].

Большинство тепловых насосов на рынке представляют собой традиционные парокомпрессионные тепловые насосы с электрическим приводом. Несмотря на то, что было предпринято много усилий для снижения их потенциала глобального потепления, по-прежнему в основном используются хладагенты со значительным потенциалом глобального потепления. Альтернативной и относительно новой технологией являются адсорбционные тепловые насосы (АБТН), работающие на тепловой энергии на природных хладагентах, таких как вода или аммиак, с нулевым потенциалом глобального потепления. Однако высокие производственные затраты, более низкий КПД и более низкая удельная мощность АБТН способствуют его низкой популярности на рынке. АБТН напрямую приводится в действие тепловой энергией,

которую можно получить из окружающей среды или в результате процессов с высокой энергетической эффективностью. К примеру, к таким источникам относятся отработанное тепло производственных процессов, тепловая энергия солнечных коллекторов, горелок на газе, а также биомасса [2].

Среди применяющихся адсорбирующих материалов выделяют активированный уголь, цеолит, силикагель, композиты и металлоорганические каркасы, которые сочетаются с несколькими адсорбатами, такими как вода, диоксид углерода, этанол, метанол и некоторые синтетические хладагенты. Какими бы эффективными ни были эти улучшенные адсорбенты, они все еще далеки от полномасштабного использования в АБТН. Скорость передачи тепловой энергии нового покрытия из силикагеля была выше, чем у гранулированных адсорберов, что привело к сокращению времени цикла и повышению производительности [3].

Тепловые насосы с тепловым приводом для отопления зданий представляют собой газовые АБТН. Другой категорией данных агрегатов являются тепловые насосы с газовым двигателем, которые используют природный газ в качестве источника энергии для привода компрессора. В дополнение к природному газу в качестве источника энергии все больше внимания уделяется водороду. Эти устройства могут быть использованы для сжигания смесей с объемной долей водорода 20-30%. Фактически, во многих исследованиях было доказано, что тепловой насос с газовым двигателем демонстрирует более высокую эффективность и экономичность, чем традиционный парокомпрессионный тепловой насос [4].

Поскольку опасения по поводу воздействия традиционных хладагентов на окружающую среду сохраняются, предпринимаются серьезные усилия, чтобы охарактеризовать и оценить производительность альтернативных хладагентов. Так, в частности, углекислый газ R-744 является одним из природных хладагентов. Это естественный компонент атмосферы, не разрушающий озоновый слой и не имеющий потенциал глобального потепления. CO<sub>2</sub> снова стал важным рабочим телом, обеспечивающим очень эффективное производство горячей воды. Такая технология нагрева воды CO<sub>2</sub> была представлена в Японии и успешно коммерциализирована для использования в жилом секторе, с сообщаемым коэффициентом преобразования в диапазоне от 4,6 до 4,8. Хотя производительность CO<sub>2</sub> зависит от внешних условий, таких как окружающий воздух, температура воды в тепловой сети и потребность в горячей воде, CO<sub>2</sub> является подходящей заменой для традиционных

хладагентов в системах отопления на базе тепловых насосов из-за присущих им характеристик. Диоксид углерода имеет низкую критическую температуру 31,1 °С и высокое критическое давление 7,37 МПа. Цикл теплового насоса CO<sub>2</sub> представляет собой транскритический цикл, работающий при значительно более высокой температуре и давлении, чем при обычных подкритических циклах [5].

Для эффективного теплоснабжения также используется гибридный тепловой насос с двойным источником, работающий в режиме тепловой трубы и компрессионного нагрева. Это солнечный регенератор, состоящий из массива тепловых трубок и материала с фазовым переходом для солнечного теплового насоса с интегрированным воздушным источником прямого расширения [6].

Для теплоснабжения жилого здания можно использовать воздушный ТН, который модифицирован по сравнению с агрегатом прямого испарения, работающим от солнечной энергии, для повышения производительности при низком солнечном излучении. Использование вспомогательного источника тепла – солнечного коллектора может обеспечить более стабильную работу системы за счет уменьшения изменения температуры, вызванного несбалансированными тепловыми нагрузками.

Интеграция солнечной системы (гелиосистемы) в последовательную схему с тепловым насосом может достичь более высокого КПД системы. Её эффективность увеличивается пропорционально площади солнечных коллекторов. В качестве испарителя в данном случае применяется теплообменник с двойным источником, интегрированный с фотоэлектрическим тепловым модулем. В комбинированной системе фотоэлектрическое производство может компенсировать потребление электрической энергии тепловым насосом [7].

Существуют также системы тепловоздушного отопления, в частности различные технологические режимы обработки воздуха, в которых низкотемпературные и высокотемпературные источники тепла могут использоваться для покрытия нагрузок поступающего и рециркуляционного воздуха соответственно. В противном случае они сначала соединяются в смешанной камере, а затем воздух предварительно нагревается низкотемпературным источником тепла и обрабатывается высокотемпературным источником до параметров приточного воздуха.

Что касается системы отопления с настенным радиатором, высокотемпературный источник тепла подается к радиатору для достижения желаемого уровня теплового комфорта, тогда как низкотемпературный источник тепла может использоваться для обработки

нагрузки свежего воздуха для обеспечения желаемого качества воздуха в помещении [8].

Список литературы:

1. Гатауллина, И. М. Построение системы теплоснабжения на основе теплового насоса / И. М. Гатауллина // Тинчуринские чтения: Тезисы докладов XIII молодежной научной конференции. В 3-х томах, Казань, 24–27 апреля 2018 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Том 2. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2018. – С. 160-162.

2. Даутов, Р. Р. Альтернативная система теплоснабжения на базе тепловых насосов / Р. Р. Даутов // Роль нефтегазового сектора в технико-экономическом развитии Оренбуржья: Материалы научно-практической конференции, посвященной 2021 году - году науки и технологий. Труды РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина Оренбургский филиал, Оренбург, 12–13 мая 2021 года. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью "Амирит", 2021. – С. 364-368.

3. Совершенствование процесса сушки зерна тритикале в шахтной сушилке с абсорбционным тепловым насосом / А. В. Дранников, К. В. Харченков, Н. В. Засыпкин, А. В. Звягин // Материалы LX отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2021 год: В 3 частях, Воронеж, 08–09 февраля 2022 года / под ред. О.С. Корнеевой; Воронеж. гос. ун-т инж. технол. Том Часть 2. – Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2022. – С. 13.

4. Морозов, Л. Н. Применение теплонасосной компрессионной установки для утилизации низкопотенциального тепла конвертированного газа / Л. Н. Морозов, Е. С. Тимошин, Е. В. Грибина // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – 2019. – № 1(57). – С. 102-107.

5. Даутов, Р. Р. Диоксид углерода как хладагент тепловых насосов, применяемых в системах теплоснабжения / Р. Р. Даутов // XXV Туполевские чтения (школа молодых ученых): Международная молодёжная научная конференция, посвященная 60-летию со дня осуществления Первого полета человека в космическое пространство и 90-летию Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ. Материалы конференции. Сборник докладов. В 6-ти томах, Казань, 10–11 ноября 2021 года. Том II. – Казань: Индивидуальный предприниматель Сагиева А.Р., 2021. – С. 191-195.

6. Нгуен, Т. Моделирование гелиоабсорбционной теплонасосной системы горячего водоснабжения / Т. Нгуен, К. Х. Гильфанов, Д. Р. Гилязов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23. – № 4. – С. 55-65.

7. Скидан, А. А. Анализ типов тепловых насосов / А. А. Скидан, Л. В. Бабина // Кибернетика энергетических систем: Сборник материалов XLII Международной научно-технической конференции, Новочеркасск, 24–26 ноября 2020 года. – Новочеркасск: Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, 2020. – С. 300-304.

8. Фимин, К. А. Использование тепловых насосов в теплоснабжении / К. А. Фимин // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техноферной безопасности: Материалы VII Всероссийской (с международным участием) научно-технической конференции молодых исследователей, Волгоград, 20–25 апреля 2020 года / Под общей редакцией Н.Ю. Ермиловой, И.Е. Степановой. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2020. – С. 322-324.

Информация об авторах:

Даутов Руслан Радикович, студент гр. ПТСм-1-21, КГЭУ, 420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51, gluza.dautova@ya.ru

Кондратьев Александр Евгеньевич, к.т.н., доцент, КГЭУ, 420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51, aekondr@mail.ru