

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Забайкальский государственный университет»
(ФГБОУ ВО «ЗабГУ»)

Александрово-Заводская ул., д. 30, г. Чита, 672039 Россия
Тел. (302-2) 41-64-44, 41-66-00
Факс: (302-2) 41-64-44
Web-server: www.zabgu.ru
E-mail: mail@zabgu.ru
ОКПО 02069390, ОГРН 1027501148652
ИНН/КПП 7534000257/753601001

УТВЕРЖДАЮ

Ректор
Сергей Анатольевич Иванов



«11» января 2021 г.

11.01.2021 г. № 16-7
На № _____ от _____

ОТЗЫВ

ведущей организации о диссертации **Карабарина Дениса Игоревича**
«Повышение эффективности утилизации низкопотенциальной энергии теплотехнологических установок» по специальности 05.14.04 – промышленная теплоэнергетика на соискание учёной степени кандидата технических наук

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена необходимостью повышения энергоэффективности и ресурсосбережения путем внедрения рациональной утилизации низко-потенциальной, «сбросной» теплоты на примере действующих объектов энергетики и промышленности Красноярского края. В целом работа актуальна для всей теплоэнергетической отрасли РФ.

Развитие энергетики России в условиях рыночной экономики сопровождается ужесточением требований к потерям при производстве и потреблении энергии, а также вредным выбросам в окружающую среду. Согласно федеральному закону «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 03.08.2018) генерирующие предприятия должны принять меры по эффективному и рациональному использованию энергетических ресурсов с учетом ресурсных, производственно-технологических, экологических и социальных условий.

В анализе выполненных работ в области проектирования систем утилизации низкопотенциальной энергии автор диссертационного исследования показал, что количество имеющихся на сегодняшний день характеристик влияющих на эффективность утилизации нуждается в уточнении и расширении. Кроме того, при проектировании схем утилизации требуется учесть влияние типа утилизации и особенности технологии ОЦР. Одним из определяющих факторов эффективного внедрения утилизации на тепло-технологических объектах является нахождение рациональных конструктивных характеристик и компоновочных решений установок органического цикла Ренкина, обеспечивающих высокую эффективность, надежность эксплуатации и полноту утилизации.

Исходя из всего вышесказанного можно констатировать, что представленное исследование, направленное на повышение эффективности получения энергии от низко-потенциальных источников теплоты направлено на решение актуальной задачи, решение которой позволит не только выполнить требования федерального закона, а также производить энергию без первичных энергоресурсов.

Объектом исследований являются энергетические установки на предприятиях промышленной энергетики, *предметом исследований* – характеристики технологии утилизации теплоты на основе ОЦР.

Цель работы – повышение энергетической эффективности тепло-технологических установок путем использования (преобразования) низкопотенциальной «сбросной» теплоты за счет совершенствования технологии на основе органического цикла Ренкина.

Перечень **задач** включает все необходимые этапы научного исследования, что свидетельствует о достижении поставленной цели и законченном характере работы. Для решения поставленных задач используются современные и апробированные методы теоретического и физического анализа процессов теплообмена.

Достоверность полученных результатов подтверждается удовлетворительной сходимостью результатов расчета термодинамических параметров в программном продукте SmoWeb с экспериментальными данными в ходе апробации расчётных моделей. Выводы достаточно хорошо коррелируют с результатами, полученными другими исследователями, и не противоречат физическим закономерностям в смежных областях знаний.

Структура, объем и содержание работы. Материалы диссертации изложены на 154 страницах основного текста, включающего 60 рисунков и 12 таблиц. Работа состоит из введения, четырех разделов, основных выводов и рекомендаций, списка литературы из 132 наименований и трех приложений.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель, основные решаемые задачи, представлены научная новизна и положения, выносимые на защиту, отражены теоретическая и практическая значимость полученных результатов, методология и методы исследования, степень достоверности и апробация результатов.

Первый раздел посвящен анализу объектов исследования и современного состояния проблемы. Приведена оценка достижений в области утилизации низкопотенциальной теплоты дана конкретизация объектов и методов исследования. Результаты анализа проведенного обзора литературных источников подтверждают актуальность работы и целесообразность постановки задач диссертации и их поэтапного решения теоретическими и экспериментальными методами.

Во втором разделе представлена термодинамическая модель процессов, протекающих в элементах, входящих в состав установок, работающих на органическом цикле Ренкина. Произведена энергетическая оценка эффективности преобразования тепловой энергии в электрическую. Расчетные модели, материально тепловые балансы были реализованы с использованием программного обеспечения SmoWeb. Данная программа является калькулятором термодинамических параметров рабочих тел, работающим на базе данных Coolprop. Представлена математическая модель выбора рабочего тела и температуры насыщения. В результате проведенных исследований для создания опытно-промышленного образца и оценки технико-экономического эффекта от внедрения утилизации теплоты на теплотехнологических объектах, была принята температура испарения 92 °С и спиральный расширитель, использующийся в качестве теплового двигателя.

В третьем разделе приводится описание опытно-промышленной установки, методика проведения и результаты экспериментальных исследований. Произведен выбор оптимальной температуры насыщения для рассматриваемых условий. Произведено сравнение экспериментальных показателей энергетической эффективности с теоретическими. Установлено что количество преобразовываемой установкой теплоты зависит от температуры испарения (насыщения) рабочего тела. Для фреона R142b минимальная температура, при которой осуществляется полная утилизация составляет 92 °С, а оптимальная, при которой с ростом температуры насыщения растет эффективность преобразования энергии и мощности, составляет 92,3 °С. Относительная погрешность, найденная с помощью методики оценки ошибок измерений, между результатами моделирования *теоретических* показателей эффективности, определенных с помощью программного продукта SmoWeb и *экспериментальными*, определенными с помощью показаний измерительных приборов на установке ОЦР находится в пределах допустимой и составляет 5 %.

Четвертый раздел посвящен технико-экономическому сравнению различных вариантов компоновки и способов внедрения технологии ОЦР на объектах промышленности и энергетики Красноярского края. При утилизации теплоты уходящих газов все варианты включения ОЦР оказались рентабельны. Это объясняется высоким тарифами на энергию в рассматриваемых районах. Привлекательными оказались варианты с включением глубокой утилизации и ОЦР без регенерации и преобразование избыточной тепловой энергии сетевой воды с ОЦР без

регенерации. Это вызвано принятием тарифа на отпущенную электрическую энергию. Наиболее эффективным вариантом утилизации теплоты уходящих газов или преобразования теплоты теплофикационного отбора на Красноярской ТЭЦ-2 является включение утилизации с ОЦР без регенерации. Экономия топлива при таком способе составляет 2372 т.у.т./год.

Структурное построение содержания работы, последовательность изложения, подробные ссылки на представленный материал в разных разделах подчеркивают ее общую целостность в рамках единой концепции. Единство диссертационного исследования обеспечивается рассмотрением влияния различных конструктивных особенностей технологии на тепловую эффективность. Автореферат в полной мере отражает основное содержание диссертации.

Публикации по работе. По результатам диссертации опубликовано 12 научных работ, из них: три статьи в журналах из Перечня ВАК; три статьи в изданиях, входящих в международные базы данных Scopus и Web of Science; одна статья в сборнике научных трудов; пять статей в материалах научных конференций различного уровня.

Наиболее значимыми **научными результатами** диссертационной работы следует признать:

усовершенствование методики определения рабочего тела для технологии ОЦР – предложен критерий, позволяющий определить минимальную температуру насыщения рабочего тела, необходимую для полной утилизации теплоты;

предложенную модель термодинамических процессов в установках ОЦР, систему уравнений и краевые условия, учитывающие конфигурацию ОЦР, выбор типа утилизации теплоты, влияние температуры испарения и типа расширителя на эффективность и полноту утилизации;

установленные количественные зависимости влияния термодинамических параметров на эффективность работы системы ОЦР с рабочим телом R142b – определены: зависимость эффективности ОЦР от температур: греющей среды, холодного источника, испарения и конденсации и оптимальная температура испарения с учетом полноты утилизации и эффективности ОЦР.

Практическая значимость результатов работы заключается в разработке схемы осуществления утилизации (преобразования) низко потенциальной теплоты на тепло-технологических объектах, учитывающие тип утилизации и особенности технологии ОЦР. Для инженерной практики разработана методика оценки технико-экономического эффекта от внедрения установок ОЦР различной конфигурации на предприятиях цветной металлургии и промышленной энергетики, особенно при утилизации теплоты уходящих газов. Разработаны режимы работы и рациональная конструкция установки ОЦР, работающей на рабочем теле R142b, позволяющие получить энергетическую мощность при утилизации теплоты на тепло-технологических объектах.

Использование полученных результатов. Научные и практические результаты работы используются в Сибирском федеральном университете при подготовке студентов по направлениям: Теплоэнергетика и теплотехника и Техносферная безопасность в бакалаврских и магистерских программах «Энергетика теплотехнологии» и «Промышленная теплоэнергетика» в курсах дисциплин «Основы инженерной деятельности (проектная деятельность)», а также в научно-исследовательской деятельности ПИ СФУ.

По диссертационной работе имеются следующие **замечания**:

1. В тексте присутствует ряд грамматических ошибок: подраздел 2.6. во втором выводе во фразе «скрытой теплотой преобразования» допущена грамматическая ошибка «скрытой теплотой парообразования», стр.17 (тал. 1.1) «цикл Ранкина» вместо «цикл Ренкина» и др.

2. Подраздел 2.3.1. (стр. 31–32). Не представлен вывод формул (2.18), полученных в результате решения формул аналогично формуле (2.16).

3. В подразделе 2.5.2. предложен термодинамический критерий выбора рабочего тела для установок ОЦР. Для увеличения ценности полученных результатов исследования его необходимо было дополнить технико-экономическим критерием выбора.

4. Подраздел 3.2. При описании работы экспериментального стенда не ясно, какова была общая мощность нагрева, размеры лабораторного помещения, как менялась температура воздуха в помещении во время эксперимента и как это учитывалось.

5. В четвертой главе диссертации вызывает сомнение оправданность рассмотрения схем

ОЦР на сетевой воде (рис. 4.17–4.18) и теплофикационном отборе пара (рис. 4.19–4.20), поскольку КПД части низкого давления энергетических турбин значительно выше, чем установок работающих по ОЦР.

6. Приложение А (стр. 139). Не ясно как зависимость удельных капвложений учитывает укрупнение установок. По рассмотренной формуле одна установка на большую мощность стоит столько же сколько две на более малую.

7. Приложение Б (табл. Б 7). Вызывает сомнение технико-экономическая оценка выработки электроэнергии на ТЭЦ при тарифе 2,77 руб/кВт*ч. Такой подход не соответствует реальной работе ТЭЦ на ОРЭМ. В данном случае более адекватной было бы сравнения расходов топлива при сохранении суммарной выработки электроэнергии на ТЭЦ.

Указанные замечания не снижают ценность и общую положительную оценку диссертационной работы, не влияют на основные научные и практические результаты и не затрагивают основных положений, вынесенных соискателем на защиту.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты, полученные на примере действующих объектов энергетики и промышленности Красноярского края применимы, и могут быть рекомендованы для всей теплоэнергетической отрасли РФ. Усовершенствованная методика определения рабочего тела для технологии ОЦР и предложенная модель термодинамических процессов в установках ОЦР, система уравнений и краевые условия, учитывающие конфигурацию ОЦР, выбор типа утилизации теплоты, влияние температуры испарения и типа расширителя на эффективность и полноту утилизации могут быть использованы в научно-исследовательской и проектной деятельности ОАО «Всероссийский теплотехнический институт (ВТИ)», Сибирском теплотехническом научно-исследовательском институте ВТИ (СибВТИ), в эксплуатационной практике – на ТЭЦ и ТЭС и других промышленных предприятий, осуществляющих теплотехнологические процессы.

Общее заключение по диссертационной работе

Диссертация Карабарина Дениса Игоревича соответствует паспорту научной специальности 05.14.04 – промышленная теплоэнергетика, имеет внутреннее единство и является завершённой научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных лично автором исследований изложены новые научно обоснованные методы определения энергетических и экономических показателей утилизации теплоты на энергетических и промышленных объектах, а также схемы осуществления утилизации (преобразования) низко потенциальной теплоты на теплотехнологических объектах, учитывающие тип утилизации и особенности технологии ОЦР, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны. Диссертация соответствует требованиям, установленным п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 01.10.2018), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук а её автор заслуживает присуждения искомой учёной степени.

Отзыв на диссертацию и автореферат рассмотрен и одобрен на заседании кафедры энергетики 11 января 2021 г., протокол № 6.

Декан энергетического факультета,
доцент кафедры энергетики,
канд. техн. наук, доцент



Батухтин Андрей Геннадьевич

Почтовый адрес: 672049, г. Чита, ул. Баргузинская д. 49.
Телефоны: 3022-41-70-85, 89144559554.
e-mail: batuhkina_ir@mail.ru