БЕРДЕНОВА БАКЫТНУР АМАНБАЕВНА

ИССЛЕДОВАНИЕ АДСОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТНОГО АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СИСТЕМАХ ОХЛАЖДЕНИЯ

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы Берденовой Б.А., на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности «6D060300 – Механика»

Актуальность темы исследования. Согласно данным международного института холода приблизительно 15% всей электроэнергии, производимой во всем мире, используется для целей кондиционирования воздуха и холодильными оборудованиями, что означает что огромная часть потребляемой энергии приходится на долю различных систем охлаждения. При использовании процесса адсорбции для охлаждения, компрессор традиционных систем охлаждения заменяется на адсорбционный реактор, который работают на тепловой энергии. Это делает АСО полностью функциональным без электроснабжения, что позволяет использовать эту технологию в отдаленных неразвитых регионах. Разработка такой технологии была бы полезна для Казахстана, где города и села очень разбросаны по всей стране. Внедрение полностью адсорбционных систем охлаждения на солнечной энергии имело бы положительный социально-экономический эффект благодаря рациональному использованию энергии и ее безопасной эксплуатации. Переход на чистые источники энергии решит разные проблемы с загрязнением воздуха.

Научное направление исследовательской работы является практически новым и медленно развивается в Казахстане, поэтому нет специализированных лабораторий, оснащенных необходимым оборудованием для разработки новых типов адсорбентов для холодильных систем и для анализа их физических свойств. Тогда как во всем мире данное направление активно развивается. Поэтому тема исследования очень значима в национальном масштабе.

Более того, процесс адсорбции находит применение в различных областях науки при создании новых технологий и техники. Например: хранение газа, тепловые насосы, улавливание CO2 и т. д. Поэтому разные авторы разрабатывают и предлагают новые адсорбенты с улучшенными характеристиками. Точная оценка адсорбционных характеристик вновь синтезированных материалов играет очень важную роль в определении их термодинамических свойств и прогнозировании их характеристик при использовании в различных системах. Поэтому результаты исследования также могут быть использованы в других системах, связанных с адсорбцией.

Цель диссертационной работы. Определить физические и адсорбционные свойства вновь синтезированного композитного

активированного угля и разработать научные основы подбора материалов для адсорбционных систем охлаждения с использованием экспериментальных и численных методов.

Задачи исследования.

- провести эксперименты по измерению тепловых и поровых свойств композитного активированного угля;
- определить адсорбционные характеристики углекислого газа на композиционный материал для возможных применений в адсорбционных системах охлаждения;
- исследовать закономерности при процессе изотермической адсорбции численным методом и определить динамические характеристики процесса адсорбции.

Объект исследования. Композитный активированный уголь, адсорбция диоксида углерода на консолидированный активированный уголь, адсорбционные системы охлаждения.

Предмет исследования. Тепловые и адсорбционные характеристики композитного активированного угля.

Методы. Экспериментальное, математическое и численное моделирование. Эксперименты проводились в Институте I2CNER совместно с сотрудниками лаборатории. Для анализа экспериментальных данных использовались различные регрессионные и другие известные аналитические методы. Образец консолидированного активированного угля для исследования был предоставлен I2CNER.

Научная новизна исследования.

- Новый композитный адсорбент с улучшенными теплопроводностью и адсорбционной способностью был синтезирован и всесторонне проанализирован: разработанный консолидированный адсорбент продемонстрировал на 233% более высокую теплопроводность, чем у исходного адсорбента;
- Абсолютное поглощение оценивалось с применением двух разных допущении, и среднее было взято в качестве более точной оценки, и построены модели изотермы адсорбции. Результаты показали хорошее приближение между экспериментальными данными и моделью. Ошибки корреляции RMSD для модифицированной модели Дубинина-Астахова и Тосса составили 0,62% и 0,56% соответственно;
- Разработана новая математическая модель, учитывающая изменения пористости и коэффициента Кнудсеновской диффузии, вызванные адсорбционным поглощением. В модели также реализовано зависящее от температуры изменение скорости адсорбции из-за тепла адсорбции, так как процесс адсорбции является экзотермическим. Эффективный коэффициент диффузии Кнудсена для рабочей пары углекислый газ/активированный уголь оценивается по кривой распределения пор по размерам и от характеристик диффундируемого газа. Сделана симуляция эксперимента проведенного на оборудовании MSB-GS-100-10M для измерения адсорбции углекислого газа на композитный активированный уголь.

Обоснованность и достоверность. Обоснованность и достоверность научных выводов, полученных в диссертации, подтверждаются их последовательным теоретическим и математическим обоснованием, а также сделан сравнительный анализ полученных результатов моделирования с результатами эксперимента.

Теоретическая и практическая значимость исследования. Теоретическая значимость состоит в том, что разработанная математическая модель описывает динамику адсорбции с большей точностью, поскольку она учитывает такие факторы, как изменения пористости и проницаемости с поглощением, а также изменение скорости адсорбции из-за колебаний температуры, поскольку процесс адсорбции является экзотермическим.

Исследование имеет практическое значение, поскольку улучшение адсорбционных характеристик рабочей пары (хладагент / адсорбент) в адсорбционных системах охлаждения оказывает положительное влияние на ее производительность. Результаты, полученные позже, будут использованы при разработке прототипа адсорбционного холодильника работающего полностью на солнечной энергии. Такая технология может быть использована при производстве от небольших термостатов до огромных хранилищ с регулируемой температурой.

Апробация результатов исследования. Полученные результаты по теме работы были представлены на следующих научных мероприятиях:

- Доклад на городском научном семинаре «Математические проблемы естествознания. Обратные и некорректные задачи», г. Алматы, 2019 г.;
- Международная научная конференция студентов и молодых ученых «ФАРАБИ ӘЛЕМІ», г. Алматы, 8-11 апреля 2019 г.;
- Международная научная конференция студентов и молодых ученых «ФАРАБИ ӘЛЕМІ», г. Алматы, 10-12 апреля 2018 г.;
- XIII Международная научная конференция студентов, магистрантов и молодых ученых «Ломоносов-2017 », г. Астана, 14-15 апреля 2017 г.

Также выступала с докладами на научных семинарах «Механики жидкости и газа» и на заседании кафедры «Механика». По материалам диссертационной работы опубликованы 7 печатных работ, из них один в международном рецензируемом журнале, индексируемом в базе данных Scopus *International Journal of Refrigeration* с импакт фактором 3.2*,* три работы в журналах, рекомендуемых комитетом по контролю в сфере образования и науки ККСОН МОН РК, три тезиса в трудах международных научных конференции.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и результатов диссертации подтверждается публикациями результатов в журнале с ненулевым импакт-фактором.

Оценка полноты выполнения целей исследования. Все поставленные цели исследования выполнены. Диссертационная работа является законченной самостоятельной научно-исследовательской работой посвященной исследованию тепловых и адсорбционных характеристик консолидированного активированного угля для применения в системах

адсорбционного охлаждения. Результаты исследования и полученные кривые зависимостей уместные.

Научные положения выносимые на защиту.

- Новый композитный адсорбент с улучшенными теплопроводностью и адсорбционной способностью был синтезирован и всесторонне проанализирован: разработанный консолидированный адсорбент продемонстрировал на 233% более высокую теплопроводность, чем у исходного адсорбента;

- Абсолютное поглощение оценивалось с применением двух разных допущении, и среднее было взято в качестве более точной оценки, и построены модели изотермы адсорбции. Результаты показали хорошее приближение между экспериментальными данными и моделью. Ошибки корреляции RMSD для модифицированной модели Дубинина-Астахова и Тосса составили 0,62% и 0,56% соответственно;

- Разработана новая математическая модель, учитывающая изменения пористости и коэффициента Кнудсеновской диффузии вызванные адсорбционным поглощением. В модели также реализовано зависящее от температуры изменение скорости адсорбции из-за тепла адсорбции, так как процесс адсорбции является экзотермическим. Эффективный коэффициент диффузии Кнудсена для рабочей пары углекислый газ/активированный уголь оценивается по кривой распределения пор по размерам и от характеристик диффундируемого газа. Сделана симуляция эксперимента проведенного на оборудовании MSB-GS-100-10M для измерения адсорбции углекислого газа на композитный активированный уголь.

Научные стажировки. Международный институт исследований углеродно-нейтральной энергии (I2CNER), Университет Кюсю, Фукуока, Япония, июнь-июль 2017 г.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликованы 7 печатных работ, из них один в международном рецензируемом журнале, индексируемом в базе данных Scopus *International Journal of Refrigeration* с импакт фактором 3.2*,* три работы в журналах, рекомендуемых Комитетом по контролю в сфере образования и науки Министерства образования и науки Республики Казахстан, три тезиса в трудах международных научных конференции.

Публикации в научных журналах:

1) Bakytnur Berdenova, Animesh Pal, Mahbubul Muttakin, Sourav Mitra, Kyaw Thu, Bidyut Baran Saha, Aidarkhan Kaltayev, A comprehensive study to evaluate absolute uptake of carbon dioxide adsorption onto composite adsorbent, International Journal of Refrigeration, Volume 100, April 2019, Pages 131-140, **Scopus**, https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2019.01.014
2) B.Berdenova and A.Kaltayev, “Review of adsorption and thermal characteristics of activated carbon and its application in ANG storage and ACS systems”, Vestnik nacional'noj akademii nauk RK, Kazakhstan, 2017, №3, Pages 27-36.

3) Б.Берденова, Е.Максум, «Регрессионный анализ для определения параметров моделей изотерм адсорбции», Вестник КазНИТУ, 2018г., номер №4, стр. 233-240.
4) Б.Берденова, «Математическая модель процесса докритической изотермической адсорбции CO2 на активированный уголь», Вестник КазНИТУ, 2019г., номер №6.

Публикации в материалах международных конференций:

1) Б. Берденова, «Стационарные системы адсорбционного охлаждения работающие на экологически чистых хладагентах», XIII Международная научная конференция студентов, магистрантов и молодых ученых «Ломоносов-2017», г. Астана.
2) Е.Максум, Б.Берденова, «Термодинамический анализ адсорбционной системы охлаждения с рабочей парой активированный уголь/CO2», Конференция «V Международные Фарабиевские чтения», г. Алматы, 2018 г.
3) Б. Берденова, «Сверхкритический цикл работы холодильного оборудования на углекислом газе», Конференция «VI Международные Фарабиевские чтения», г. Алматы, 2019 г.

Структура и объем диссертации. Текст дипломной работы содержит следующие элементы: аннотация, введение, 5 глав, заключение, список литературы, состоящий из 67 наименований и список публикаций по теме диссертационной работы. Работа изложена на 65 страницах, содержит 30 рисунков и 8 таблиц. Главы 3-6 выполнялись в сотрудничестве с группой зарубежного научного руководителя и являются частью научной стажировки в Японии, по итогам которой была опубликована совместная статья в журнале.

Во введении делается обзор на системы адсорбционного охлаждения, принцип работы таких систем, преимущества и недостатки. Также перечисляются основные методы увеличения холодопроизводительности материала, и пути сделать адсорбционные реакторы более компактными. Основными применяемыми методами является консолидация и увеличение теплопроводности активированного угля.

В третьей главе описывается метод и принцип работы экспериментальной установки для измерения адсорбционного поглощения для рабочей пары активированный уголь/углекислый газ. Также перечисляются другие установленные собственные и адсорбционные характеристики композитного материала.

В четвертой и пятой главах делается оценка абсолютного равновесного поглощения с применением двух разных допущении и корреляция параметров моделей изотерм Дубинина-Астахова и Тосса. В шестой главе изучается тепло адсорбции.

В седьмой главе эффективный коэффициент диффузии Кнудсена для пористой среды получается с использованием распределения пор по размерам и характеристик диффундируемого газа.

Для расчета поглощения адсорбции на границе раздела твердое тело-газ и подробного описания динамики процесса адсорбции была построена и решена математическая модель неизотермического реактивного поглощения. Математическая модель учитывает изменения пористости и коэффициента диффузии с адсорбционным поглощением. Сделана симуляция эксперимента проведенного на оборудовании MSB-GS-100-10M для измерения адсорбции углекислого газа на композитный активированный уголь.

Сделан сравнительный анализ полученного результата с результатами, полученными с использованием изотермической модели и результатом эксперимента. Предлагаемая модель неизотермического реактивного потока дает более точную кривую усредненного по объему адсорбционного поглощения с резким скачком в начале адсорбции и более низкой скоростью поглощения массы из-за выделения тепла адсорбции. Скорость постепенно увеличивается со временем, поскольку тепловая энергия рассеивается в окружающую среду в камере держателя образца посредством естественной конвекции. Таким образом, кривые зависимости, полученные этим методом, показывают лучшее совпадение с экспериментальными результатами. Остаточные отклонения/ ошибки в результатах связаны с использованием одномерной модели, которое исключает проникновение газа по бокам таблетки.

В заключении приводятся основные результаты и выводы диссертационной работы. Сравнение экспериментальными данными показывает хорошую точность измерения. Результаты представленной диссертационной работы имеют большую теоретическую значимость, и могут быть использованы для детального описания динамики адсорбции углекислого газа в консолидированный активированный уголь. Основные положения и выводы диссертации обоснованы.