

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени «доктор философии» (PhD)
по специальности «6D071700 – Теплоэнергетика»

Қаласов Нұрдәулет Болатұлы

СЕПАРАЦИЯ ГАЗОВ В ИНТЕГРИРОВАННЫХ МЕМБРАННЫХ БИОРЕАКТОРАХ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТОПЛИВА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

Общая характеристика работы

В диссертационной работе исследуется интегрированный мембранный биореактор для производства и сепарации водорода. В ходе численного исследования процессов мембранного разделения смесей водорода и углекислого газа описан основной набор гидродинамических моделей. Показаны результаты CFD моделирования с использованием пакета программного обеспечения ANSYS FLUENT в ламинарных и турбулентных режимах потока в процессе мембранной сепарации с целью управления толщиной концентрационного поляризационного слоя.

Актуальность темы

Перспективы производства энергии с помощью тепловых электростанций в XXI веке вызывают большие опасения по следующим причинам. Во-первых, в ближайшие 50 -70 лет два вида органического топлива - нефть и газ должны будут иссякнуть. Во-вторых, тепловые электростанции являются главным источником выброса в атмосферу углекислого газа и создания парникового эффекта. В-третьих, сейчас в год добывается около 14 млрд. тонн топлива. В XX веке из недр планеты изъято порядка 500 млрд. тонн топлива, что составляет 10^3 массы Земли. Это может привести в будущем, наряду с парниковым эффектом, к непредсказуемым последствиям. Энергопотребление не обнаруживает тенденции к уменьшению - напротив, скорость его увеличения постоянно растет.

В настоящее время набирает силу новая отрасль промышленности - водородная энергетика и технология производства водорода. Ведь это простейшее и легчайшее вещество может использоваться не только как топливо, но и как необходимый сырьевой элемент во многих технологических процессах.

Основной проблемой при производстве водорода является проблема технологической экономии и производства. Одним из интересных и перспективных подходов является использование мембранных технологий и мембранных биореакторных процессов, которые значительно улучшают экономику производства биотоплива.

Интерес к мембранному разделению быстро растет, поскольку признано, что мембранные процессы технически и экономически превосходят другие конкурирующие технологии во многих промышленных применениях. Это преимущество объясняется многими преимуществами технологии мембранной сепарации, к которым относятся низкие капитальные вложения, простота и

удобство монтажа и эксплуатации, низкие требования к обслуживанию, небольшой вес, занимаемая площадь и высокая технологическая гибкость. Кроме того, мембранное разделение не требует добавок и может проводиться при более низких температурах по сравнению с другими процессами термического разделения, которые работают при более высоких температурах.

Одним из видов биологического производства водорода является темная ферментация. При темной ферментации бактерии воздействуют на субстрат и выделяют водород. Субстратами для темной ферментации являются углеводородные материалы, такие как лигноцеллюлозная биомасса, промышленные сточные воды, сахаросодержащие растительные остатки и твердые бытовые отходы. На первом этапе большое влияние на эффективность темной ферментации оказывает предварительная обработка биомассы.

Биоводород, образующийся при темной ферментации, генерирует газообразную смесь, состоящую в основном из H_2 (водорода) и CO_2 (углекислого газа) и жидких сточных вод со значительными количествами летучих жирных кислот. Следовательно, последующие методы после стадии производства должны иметь по меньшей мере две цели:

– газообразный водород должен быть очищен, чтобы стать эффективным исходным материалом в топливных элементах;

– стоки нуждаются в дальнейшей обработке или использовании из-за его остаточного и пригодного для использования органического вещества. Фактически, в целях повышения качества биоводорода, CO_2 должен быть удален и преобразован в другие биопродукты.

Целью диссертационной работы является разработка модели гидродинамики и массопереноса процесса газоразделения в интегрированных мембранных биореакторах для обеспечения теплоэнергетических установок экологически чистым и высококалорийным топливом.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Описать гидродинамическую модель процессов мембранного разделения газов водорода и углекислого газа;

2. Разработать гидродинамическую модель мембранной сепарации в ламинарном потоке для исследования эффектов концентрационной поляризации;

3. Разработать методику расчета коэффициента массопереноса с использованием гидродинамической модели;

4. Разработать модель гидродинамики и массопереноса поперечного потока через пористую мембрану, заполненную промежуточными делителями при их различных расположениях.

Объект исследования

Спирально-навитая мембрана для разделения газов.

Предмет исследования

Вычислительная гидродинамическая (CFD) модель для изучения концентрационной поляризации, возникающей при разделении газов в интегрированных мембранных биореакторах.

Методы исследования

Основным методом изучения влияния концентрационной поляризации на поверхность мембраны является компьютерное моделирование в среде Ansys Fluent. Метод конечных объемов используется для теоретического решения основных уравнений вязкого потока с использованием уравнения неразрывности и уравнения Навье-Стокса, закона сохранения импульса и уравнения переноса, а также вычислительные методы для режимов ламинарного и турбулентного потока.

Положения, выносимые на защиту:

1 С увеличением скорости газовых смесей водорода и углекислого газа на входе в мембранный канал увеличивается тангенциальное напряжение и максимальная толщина концентрационного поляризационного пограничного слоя по длине канала в зависимости от числа Рейнольдса в диапазоне $Re=200\div 800$ изменяется от $\delta(x)=0,293*10^{-3}$ м до $\delta(x)=0,152*10^{-3}$ м;

2 При обтекании потоком промежуточных делителей среднее значение числа Шервуда в 1.5 раза выше, чем в случае их отсутствия, это объясняется тем, что массоперенос увеличивается из-за возникающих вихрей образующихся при обтекании делителей;

3 Промежуточные делители, расположенные линейно посередине мембранного канала, обеспечивают более высокий массоперенос по сравнению с промежуточными делителями расположенных в шахматном порядке, для всех рассматриваемых чисел Рейнольдса в диапазоне $Re=200\div 800$.

Научная новизна диссертационной работы, впервые:

1. Разработана основная гидродинамическая модель поперечного потока смесей водорода и углекислого газа через пористую мембрану в ламинарном режиме и разработана методика аналитического расчета коэффициента массопереноса;

2. Разработана 2D модель гидродинамики и массопереноса поперечного потока смесей водорода и углекислого газа через пористую мембрану в турбулентном режиме для трех различных конфигурациях расположения промежуточных делителей;

3. С целью улучшения и оптимизации производства биоводорода исследована влияние промежуточных делителей в мембранном канале на массоперенос.

Научно-практическая значимость исследования

Результаты гидродинамического моделирования, разработанные в диссертационной работе, имеют большое значение при производстве экологически чистого и недорогого биоводорода.

Достоверность и обоснованность полученных результатов

Численные исследования проводились с использованием лицензионного пакета программ Ansys FLUENT (Ansys, Inc., США). Достоверность и обоснованность результатов гидродинамической модели подтверждается аналитическими и экспериментальными данными. Помимо этого, достоверность результатов, достигнутых в диссертационной работе, подтверждается наличием публикаций в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества

в сфере образования и науки МОН РК, в журналах дальнего зарубежья с ненулевым импакт-фактором, и в трудах международных конференций.

Личный вклад автора

Написание полного объема диссертации, выбор численного метода исследования, разработка модели гидродинамики и массопереноса процессов мембранного разделения газов в программе Ansys Fluent, обработка и анализ полученных в ходе моделирования результатов осуществлялись автором самостоятельно. Постановка задач и обработка результатов проводились совместно с научными консультантами.

Апробация диссертационной работы

Результаты, полученные в диссертационной работе, докладывались и обсуждались:

– на Международной научной конференции «Sustainable Processes, Sustainable Systems, Sustainable Environment», София, Болгария, 8 ноября 2019 г.;

– на Международной научной конференции студентов и молодых учёных «Фараби Әлемі», Алматы, Қазақстан, 6-9 Апрелья 2020 г.;

- на международной научной конференции «инновационное развитие образования, научных производств и альтернативных источников энергии», Алматы, Казахстан, 23 декабря 2020 г.

Публикации

По теме диссертационной работы опубликовано 8 печатных работ, из них 4 работы в материалах международных конференций (3 в виде тезиса и 1 в виде статьи), 3 работы в научных изданиях, рекомендованных КОКСОН МНиВО РК на соискание ученой степени доктора философии (PhD), 1 статья в журналах, входящих в международные информационные ресурсы Web of Science (Clarivate Analytics, США) и Scopus (Elsevier, Нидерланды).

Объём и структура диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, 3 разделов, заключения и списка использованных источников из 117 наименований, содержит 88 страниц основного компьютерного текста, включая 44 рисунков, 4 таблиц и 61 формул.