

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу **Лин Маунг Маунга** «Разработка технологии очистки сточных вод от тяжелых металлов методами нанофильтрации и ионного обмена», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.18 – мембраны и мембранная технология

Актуальность работы. Диссертационная работа посвящена весьма важной и актуальной теме – разработке новых, более эффективных методов очистки сточных вод предприятий различных отраслей промышленности от примесей тяжелых металлов.

Целью диссертации являлась разработка гибридной технологии очистки технологических и сточных вод методами нанофильтрации (НФ) и ионного обмена (ИО).

Научная новизна работы состоит в том, что впервые был исследован процесс задержания различных тяжелых металлов (меди, свинца, марганца, цинка) нанофильтрационной мембраной, как в одно-, так и в многокомпонентных растворах; сняты зависимости селективности НФ мембраны по тяжелым металлам от различных факторов, а также определены сорбционные характеристики сульфокатионита КУ-2-8 по отношению к ряду тяжелых металлов при сорбции из растворов сложного солевого состава.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в определении оптимальных условий очистки многокомпонентных растворов от ряда тяжелых металлов методом нанофильтрации и ионного обмена, а также предложена гибридная технология очистки технологических и сточных вод методами НФ и ИО. Полученные результаты могут быть использованы при проведении проектирования установок очистки стоков, содержащих тяжелые металлы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и списка литературы (86 источников). Общий объем диссертации 117 страниц, включая 45 рисунков, 13 таблиц. Структура диссертации соответствует требованиям ВАК к кандидатским диссертациям.

Во введении сформулирована актуальность работы, определены цели и задачи исследования, изложены научная новизна, практическая значимость полученных результатов и основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава диссертации представляет собой обзор научно-технической литературы, посвященный методам очистки сточных вод от тяжелых металлов. Подробно описаны и проанализированы баромембранные и ионообменные методы очистки сточных вод.

Во второй главе приведены методики проведения экспериментов и анализа, описаны конструкции используемых аппаратов НФ и ИО, а также лабораторных установок на их основе.

В третьей главе приводятся полученные экспериментальные данные и их обсуждение.

Изучено влияние рН исходного раствора на селективность НФ мембран. Показано, что в случае растворов нитрата меди и марганца селективность мембран проходит через минимум при рН равном $6,50 \pm 0,02$ и $5,30 \pm 0,02$ соответственно, что связано с уменьшением задерживающей способности в изоэлектрической точке.

При изучении влияния концентрации исходного раствора на селективность и удельную производительность мембран было показано, что с повышением концентрации исходного раствора, селективность нанофильтрационных и обратноосмотических (ОО) мембран увеличивается и достигает 98-99 %, что связано с образованием двойного электрического слоя (ДЭС) на поверхности мембраны. Удельная производительность НФ и ОО мембран остается практически постоянной.

Большой раздел третьей главы диссертации посвящен исследованию нанофильтрации многокомпонентных растворов, содержащих ионы тяжелых металлов. Было выбрано два модельных раствора, имитирующих состав реальных шахтных вод горно-обогатительных комбинатов. В процессе экспериментов установлено, что селективность НФ мембраны по меди меньше, чем по марганцу и цинку. Селективность ОО мембраны по марганцу выше ($>99,5\%$), чем по цинку и меди, что объясняется различиями размеров ионов переходных металлов в водных растворах. При увеличении температуры селективность НФ мембраны незначительно уменьшается, повышение рабочего давления приводит к увеличению селективности НФ мембраны.

Исследование зависимости селективности НФ мембраны от величины рН многокомпонентного раствора показало, что эти зависимости проходят через минимум, соответствующий рН = 5,3; 5,2-5,4 и 5,7- 5,8 для марганца, цинка и меди соответственно. В данных областях рН отсутствует электростатическое взаимодействие между мембраной и ионами растворенных веществ, что приводит к снижению задерживающей способности НФ мембран. Замечено, что селективность НФ мембран по меди ниже чем, по марганцу и цинку при любых технологических параметрах (величина рН, давление, температура) процесса.

При изучении ионного обмена было исследовано влияние времени фильтрации на изменение концентрации поглощаемых ионов на выходе из колонки. Показано, что

увеличение линейной скорости потока негативно сказывается на величину «проскока» ионов. Сделан вывод о том, что лимитирующей стадией процесса ионного обмена является внешняя диффузия. Определены значения полной обменной емкости (ПОЕ) смолы КУ-2-8 по Zn - 425 г-экв/м³, Cu- 510 г-экв/м³ и динамической обменной емкости (ДОЕ) -305 и 342 г-экв/м³ для Zn и Cu соответственно.

В четвертой главе проведен технико-экономический анализ процесса очистки сточных вод с использованием наночистот и ионного обмена на примере очистки сточных шахтных вод Челябинского угольного бассейна и разработана принципиальная технологическая схема очистки сточных вод. Целью анализа являлось минимизация затрат на очистку сточных вод с помощью гибридной технологии НФ и ИО.

Рассчитана себестоимость очищенной воды методом НФ и ИО, которая составила 2,15 и 75 руб/м³ соответственно. Общие капитальные затраты очистки сточных шахтных вод методами НФ и ИО составляют около 1,5 млн. руб.

Проведенный технико-экономический анализ показал перспективность и экономическую целесообразность применения гибридной технологии, включающей стадии НФ и ИО для очистки сточных вод от тяжелых металлов.

По работе можно сделать следующие замечания:

1. Осталось непонятным, почему в многокомпонентных системах селективность НФ мембраны по меди меньше, чем по марганцу и цинку, в то время как в однокомпонентных системах максимальная селективность наблюдается по меди?
2. Имеет ли какой-нибудь физический смысл произведение удельной производительности мембраны и вязкости раствора (п.3.1.2.2)?
3. На графике зависимости селективности НФ мембраны от рН (рис. 34б) минимум в случае цинка и марганца выражен очень слабо и находится в пределах погрешности измерений.
4. Вывод о лимитирующей стадии процесса ионного обмена (внешней диффузии) недостаточно обоснован экспериментально. Для определения лимитирующей стадии экспериментально снимают зависимости степени превращения от времени при различных концентрациях, размерах зерна сорбента, скорости перемешивания, температуры и по полученным зависимостям делают соответствующие выводы.
5. Диссертант для сорбции цветных металлов предлагает использовать сульфокатионит, в то время как наиболее селективными к данному типу металлов

являются комплексообразующие иониты, в частности, аминокарбоксильные катиониты.

6. В главе 4 не приведен расчет себестоимости очищенной воды и капитальных затрат при использовании для очистки только ионного обмена, что не позволяет обосновать вывод № 6 об экономической эффективности применения гибридной технологии (НФ и ИО).

Замечания по методике и оформлению:

- не указан сорт смолы КУ-2-8, который использовали в экспериментах;
- при описании сорбционных экспериментов не указаны габариты колонок, высота слоя смолы, размер зерен;
- на графиках и таблицах не указана погрешность измерения величины селективности НФ и ОО мембран;
- в уравнениях 8 и 9 не приведены размерности величин;
- в табл.8 не указан рН шахтных вод горно-обогатительных заводов;
- в таблице 9 отсутствуют значения ДОЕ при различных линейных скоростях;
- в тексте имеются неудачные выражения, опечатки.

Однако, высказанные выше замечания носят не принципиальный характер и не влияют на общую положительную оценку данной диссертационной работы, которая выполнена на хорошем научном и экспериментальном уровне. Все основные положения, сформулированные в работе, экспериментально обоснованы, достоверность полученных результатов сомнений не вызывает. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации

Результаты по теме диссертации отражены в четырех печатных работах, в том числе в двух статьях в журналах, рекомендованных ВАК. Результаты работы неоднократно докладывались на российских и международных конференциях.


Диссертационная работа Лин Маунг Маунга является самостоятельной и законченной научно-квалификационной работой и соответствует паспорту специальности 05.17.18 – Мембраны и мембранная технология (п. 5. «Комбинированные процессы мембранной технологии (сочетание мембранных процессов с другими процессами химической технологии: адсорбцией, ректификацией и др.) и п.6. «Применение мембранных процессов в промышленности, охране окружающей среды и медицине, в том числе решение проблем водного хозяйства, разделения жидких и газовых смесей, выделения ценных компонентов из сточных вод и газовых выбросов, использование процессов и устройств для поддержания жизнедеятельности человека»).

Таким образом, диссертационная работа **Лин Маунг Маунга** полностью соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении учёных степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.13 г. № 842, а ее автор заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.17.18 – мембраны и мембранная технология.

Милютин Виталий Витальевич,

доктор химических наук по специальности 02.00.14 – радиохимия, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией хроматографии радиоактивных элементов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина Российской академии наук (ИФХЭ РАН) 119071, Москва, Ленинский проспект, 31, корп. 4; <http://www.phyche.ac.ru/>,
E-mail: vmilyutin@mail.ru, тел.: +7(495)335-9288

Я, Милютин Виталий Витальевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

«06» ноября 2018 г. 

Подпись Милютина Виталия Витальевича
Ученый секретарь ИФХЭ РАН,
кандидат химических наук



И.Г. Варшавская