

## ОТЗЫВ

официального оппонента  
на диссертационную работу

Лин Маунг Маунг

на тему **«Разработка технологии очистки сточных вод от тяжелых металлов методами нанофильтрации и ионного обмена»**, представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.17.18 – Мембраны и мембранная технология

*Актуальность темы исследования* определяется необходимостью разработки новых подходов к очистке сточных вод предприятий различных отраслей промышленности, обеспечивающих более высокую степень эффективности предлагаемых технологий по сравнению с существующими. При очистке сточных вод, содержащих в своем составе ионы тяжелых металлов, наиболее часто применяются реагентные методы, недостатками которых являются использование различных химических веществ и образование большого количества шлама, выделение из которого целевых компонентов является весьма сложной задачей.

В последние десятилетия во многих отраслях промышленности начали применяться мембранные технологии с использованием мембран с различным диаметром пор. Также широкое распространение в промышленном производстве, особенно в практике водоподготовки для умягчения воды, нашел метод ионного обмена на катионо- или анионоактивных смолах в зависимости от вида поставленной задачи.

Автором исследована возможность очистки сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов, с использованием нанофильтрационных мембран и ионообменных смолы марки КУ-2-8.

Детальное ознакомление с диссертацией позволяет сделать вывод о ее **актуальности** и целесообразности выбора темы исследования.

**Научная новизна диссертационной работы** заключается в том, что исследована возможность удаления ионов тяжелых металлов ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  и  $\text{Mn}^{2+}$ ) с применением методов нанофильтрации и ионного обмена из многокомпонентных сточных вод и при этом:

- впервые исследовано и выявлено влияние физико-химической природы системы «ион металла-мембрана» на селективность последней для моно- и поликомпонентных водных растворов;

- определены точки минимума селективности удаления ионов тяжелых металлов в зависимости от природы системы «ион металла-мембрана»;

- определены значения полной обменной емкости по ионам тяжелых металлов в статических и динамических условиях для ионообменной смолы КУ-2-8.

**Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы:**

- определены значения удельной производительности и селективности нанофильтрационных и обратноосмотических мембран по ионам  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  и  $\text{Mn}^{2+}$ ;

- проведен оценочный технико-экономический анализ процесса очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов с использованием нанофильтрации и ионного обмена.

**Достоверность научных результатов и выводов диссертационной работы** обеспечивается использованием современных средств и методик проведения исследований, значительным объемом полученного и обработанного материала лабораторных и опытно-промышленных исследований, проведенных на поверенном, высокотехнологичном оборудовании, что снижает возможную погрешность измерений. Все исследования подтверждаются публикациями в рецензируемых журналах,

рекомендуемых ВАК РФ. Результаты диссертационной работы Лин Маунг Маунг апробированы на научных конференциях международного уровня.

### *Анализ структуры и содержания диссертации*

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и 9 приложений. Работа изложена на 117 страницах машинописного текста, включающих приложения, содержит 45 рисунков и 13 таблиц, список литературы включает 86 наименований работ отечественных и зарубежных авторов.

По материалам диссертационной работы опубликовано 4 статьи, из них 2 статьи в журнале, рекомендованном ВАК Минобрнауки России.

**Во введении** обоснована актуальность работы, определены цели и задачи исследования. Сформулирована научная новизна, показана теоретическая и практическая значимость, представлены источники апробации результатов, личный вклад автора, достоверность результатов исследования.

**В первой главе** диссертации представлен литературный обзор, который включает в себя первоначально сведения о влиянии ионов тяжелых металлов на живые организмы, в том числе и на человека. Также диссертант приводит сведения об основных процессах очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов, такие как осаждение, фильтрация, реагентные, электрохимические, а также физико-химические методы, такие как выпаривание, адсорбция, ионный обмен. Диссертантом подробно описаны баромембранные методы. Выявлены достоинства и недостатки рассматриваемых способов извлечения ионов тяжелых металлов из водных сред. В конце главы, по совокупности рассмотренного материала, автором сделаны заключения и определено направление диссертационного исследования.

**Вторая глава** диссертации посвящена описанию приборной базы, используемой в исследованиях, а также методик определения содержания ионов тяжелых металлов в исходных и очищенных водных средах. Приведены

характеристики используемых в диссертационном исследовании нанофильтрационного и обратноосмотического мембранного оборудования, а также ионообменной смолы.

В третьей главе проводится обсуждение полученных экспериментальных данных. Первоначально диссертант влияние значений рН среды на селективность нанофильтрационной мембраны по отношению к различным ионам тяжелых металлов в однокомпонентных растворах. Найдено, что при некоторых значениях рН, графические зависимости значения селективности от величины рН имеют экстремальный характер. Автором определено, что наименьшее значение селективности разделения ионов  $Mn^{2+}$  наблюдается при рН = 5,3, для ионов  $Cu^{2+}$  - при рН = 6,5 и для ионов  $Pb^{2+}$  - при рН = 4,4.

Далее диссертантом исследованы зависимости концентрации растворов, содержащих ионы тяжелых металлов, на селективность и производительность мембран. Найдено и графически показано, что с увеличением концентрации иона металла в растворе, селективность процесса разделения с использованием мембран увеличивается. Также автором исследованы зависимости рабочего давления, приложенного к системе, на селективность и удельную производительность мембран. Определено, что с ростом рабочего давления, удельная производительность мембран увеличивается, что вполне закономерно.

На последующем этапе работы диссертант исследовал зависимости влияния различных факторов (времени фильтрации, температуры, давления, значения рН) на селективность и удельную производительность мембран при пропускании через последние двух реальных растворов шахтных вод, содержащих ионы  $Mn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  и  $Zn^{2+}$  в различных концентрациях. В результате проведенных исследований выявлено преимущество нанофильтрационной мембраны перед обратноосмотической в части производительности. Также показано, что селективность обратноосмотических мембран по названным

ионам выше такового показателя нанофильтрационной мембраны. Выявленные зависимости объясняются диссертантом различной степенью сшивки полимера мембраны и, соответственно, различным размером пор последней.

В последующем, Лин Маунг Маунг исследовал стадию ионного обмена. Определены значения полной и динамической обменной емкости смолы КУ-2-8. Автором показано, что с увеличением скорости прохождения водного потока, содержащего ионы  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  или  $Pb^{2+}$ , степень очистки уменьшается, что вполне закономерно.

В четвертой главе приводится предлагаемая гибридная технологическая схема очистки сточных вод Челябинского угольного бассейна с использованием стадии нанофильтрации и ионного обмена. Диссертантом рассчитаны параметры мембранного модуля и ионообменной установки, рассчитаны значения стоимости очистки по стадиям. Проведенными расчетами показано, что капитальные затраты по очистке кислых шахтных вод по предложенной технологии составляют около 1,5 миллионов рублей.

В заключении представлены основные результаты и выводы по диссертационной работе.

В приложениях представлены графические зависимости селективности и удельной производительности мембран от различных параметров.

Диссертация написана кратко, четко, ясно. Содержание автореферата полностью отражает содержание диссертационной работы. В автореферате приведены основные результаты, цели, задачи исследования и выводы. Опубликованные автором научные работы и автореферат полностью раскрывают основные положения и выводы диссертационного исследования.

#### ***Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации***

Материал диссертационной работы представляет интерес для специалистов, работающих на предприятиях, сточные воды которых содержат

в своем составе ионы тяжелых металлов (гальваностоки, шахтные воды, воды предприятий обогащения руд и др.).

*Ошибки и замечания по диссертационной работе*, которые обнаружены и возникли в процессе ознакомления с диссертацией:

1. Размерности определяемых величин приведены не в единицах СИ. Например, значения емкости приводятся в литрах, а не в  $\text{дм}^3$ .

2. В таблицах 8 и 10 неправильно названы параметры сточных вод: вместо параметров «сульфат» и «хлорид» необходимо указывать «сульфат-ионы» и «хлорид-ионы».

3. В тексте диссертации довольно часто встречается термин «очистка от тяжелых металлов». В действительности, осуществляется очистка или удаление от ионов тяжелых металлов.

4. На рисунках 27 и 28 приведены графические зависимости селективности удаления ионов марганца, меди и цинка наночлестрационной и обратноосмотической мембранами. Однако, неясно, с какой сточной жидкостью диссертант проводил экспериментальные исследования? С шахтной водой 1 состава или же 2 состава, начальные характеристики которых приведены в таблице 8.

5. На стр. 80 диссертант указывает, что «при увеличении рабочего давления структура мембраны уплотняется», что приводит к увеличению удельной производительности мембран. Данное утверждение алогично.

6. На рисунке 37 приводятся графические зависимости изменения остаточного содержания ионов цинка, никеля, меди и свинца после прохождения ионообменной колонки. К сожалению, эксперименты проводились при различных линейных скоростях прохождения водного потока через слой ионообменной смолы. Данное обстоятельство затрудняет сравнение полученных зависимостей и их интерпретацию.

Вышеперечисленные замечания относятся, в большинстве своем, к оформительской части диссертации, что определяется, по всей видимости,

происхождением диссертанта (Республика Союз Мьянма), не имеют принципиального значения и не снижают научной ценности работы.

**Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.** Результаты диссертационной работы рекомендуются к внедрению на предприятиях машино- и приборостроительных отраслей промышленности, а также обогащения полезных ископаемых. С результатами диссертационной работы следует ознакомить научные исследовательские центры и университеты, занимающиеся проблемами защиты окружающей среды: ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» (г. Саратов), ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет» (г. Иваново), ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» и другие, в которых проводятся исследования по очистке природных и сточных вод от ионов тяжелых металлов.

### **Заключение**

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям, диссертация Лин Маунг Маунг соответствует паспорту специальности научных работников 05.17.18 – Мембраны и мембранные технологии.

Диссертация представляет собой самостоятельное, законченное научное исследование с грамотно поставленными и решенными задачами. Она соответствует п. 9 Положения о присуждении учёных степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, как научно-квалификационная работа, в которой содержатся технические и технологические решения по разработке гибридной технология очистки технологических и сточных вод от ионов тяжелых металлов с использованием процессов наночистоты и ионного, имеющие существенное значение для

развития страны, а ее автор Лин Маунг Маунг заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.17.18 – Мембраны и мембранные технологии.

### Официальный оппонент

доктор технических наук по специальности 03.02.08 – Экология (в химии и нефтехимии), заведующий кафедрой Инженерной экологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет»



РФ, Республика Татарстан,  
г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68  
ФГБОУ ВО «КНИТУ»,  
тел. (843)231-40-97,  
E-mail: ildars@inbox.ru



Шайхиев Ильдар  
Гильманович

Шайхиева И.И.  
удостоверяется,  
директор ФГБОУ ВО «КНИТУ»  
И.И. Шайхиева О.А. Перелыгина  
11 20 16