

## РЕЦЕНЗИЯ

относно защита на дисертационен труд на тема: **CFD МОДЕЛИРАНЕ НА МЕМБРАННО РАЗДЕЛЯНЕ ЧРЕЗ НАНОФИЛТРУВАНЕ**

за придобиване на: **образователна и научна степен „доктор“**

по специалност – **„Процеси и апарати в химичната и биохимичната технология“**

с кандидат - **инж. Стела Пламенова Паньовска**

Рецензент/ **Татяна Стефанова Петрова, д-р, професор**

- **Кратки биографични данни и характеристика на научните интереси и научната дейност на дисертанта.**

Докторант Стела Паньовска е завършила ОКС магистър в Химикотехнологичен и металургичен университет – София, CAD/CAE в химичните технологии през 2017 г., професионална квалификация – инженер-химик, с общ среден успех отличен (5.50) от следването си и оценка от защита на дипломната си работа „3D проектиране и анализ на реактор с механично разбъркване и аериране“ - с отличен (6.00). В Институт по инженерна химия при Българска академия на науките (ИИХ-БАН) започва работа още преди да завърши официално, като химик от 01.03.2017 до 23.02.2022; след това е назначена като асистент в Лаборатория „Преносни процеси в многофазни среди“ към ИИХ-БАН. От 2020г. е зачислена в докторантура на самостоятелна подготовка с научни консултанти доц. д-р Даниела Джонова (професор към настоящия момент) и проф. д-р Ирен Цибранска, и работно заглавие на дисертационната работа "CFD моделиране на мембранно разделяне чрез нанofilтруване". Съгласно Правилника на ЦО на БАН и съгласно решение на Колоквиума на учените в ИИХ от 29.09.23г, инж. Паньовска е покрила и надхвърля необходимите кредитни точки по плана за докторантурата си (441 при изискуеми 250) и е изпълнила вътрешните изисквания в ИИХ за отчисляване с право на защита. Отчислена е с право на защита със заповед РД 15-518/27.10.23г. На 27.11.25г. Колоквиумът на ИИХ е разгледал на предзащита дисертационният ѝ труд и го е насочил към защита; това решение е одобрено на заседание на НС на ИИХ с Протокол 10/04.12.2025г.

Научните интереси на докторантката са в областта на инженерната химия, общо – в експерименталното и теоретично изследване на екстракционни, дестилационни, абсорбционни, адсорбционни процеси при реактори. Специфичната ѝ научна компетентност и умения се проявяват в областта на изчислителната хидродинамика (CFD), 3D проектирането и симулирането на реактори с разбъркване и аериране, ерлифт реактори, тарелкова звънчева колона, и тн., тематика, застъпена още в магистърската ѝ теза.

Научният ѝ актив съгласно представените документи се изразява в общо 14 публикации (10 от тях в научни издания с SJR/IF), 33 цитата по тях, участие в 6 проекта към ФНИ (5 приключили, 1 текущ), 2 участия като млад учен в ННП „Млади учени и постдокторанти“ – сесии 2019 и 2022 година. Научните

постижения на докторантката са отличени през 2021г. с присъждането на наградата на БАН по конкурса за най-млади учени до 30 години „Иван Евстратиев Гешов”, в научно направление „Енергийни ресурси и енергийна ефективност“.

- **Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем.**

Нанофилтруването като мембранен процес за разделяне и мембранните реактори, в които то се осъществява, е актуална научна тема, която след появата си през 80-те години на миналия век продължава да се развива и намира все повече нови приложения в различни отрасли на индустрията (производството на питейна вода, пречистването на отпадъчни води, хранително-вкусовата промишленост, химическата и фармацевтичната промишленост, и др.). Избраната тема на дисертационният труд (ДТ) определено е актуална и значима; това се потвърждава и от литературната справка в ДТ - растежът на изследванията в областта на нанофилтрацията е толкова бърз, че повече от две трети от общите публикации в тази област са публикувани през последното десетилетие. Като значими и актуално стоящи през световната научна общност проблеми при мембранното филтруване се очертават намаляването/предотвратяването на запушването на мембраната и начина на оценяване на ефективността на скоростта на масопредаване през мембранната повърхност. В представената дисертация се предлагат решения на горните проблеми с помощта на CFD като полезен теоретичен инструмент, който може да осигури нови знания за разпределението на скоростите около и по мембранната повърхност, както и за оценка на масопредаването и ефективността му при мембранна нанофилтрация.

- **Преглед на дисертационния труд и анализ на резултатите.**

Представеният дисертационен труд (общо 151 страници) е оформен в 7 глави, съдържа 62 фигури, 2 таблици и 169 цитирани литературни източници; включени са също и въведение, описание на използваните означения и съкращения, както и списъци на публикациите и докладите на научните резултати по темата на ДТ. При цитираната литература, 159 източници са след 2000 година, 6 източника преди 2000 и 4 са без конкретна година на публикуване. Подборът и анализът на литературните източници в Глава I (литературен обзор, 35 стр.) говори за един много пълен и прецизен подход при събирането, изложението и обобщаването на полезна информация и съвременни данни по темата на ДТ. В обзора са разгледани подробно основни въпроси - що е нанофилтруване, видовете нанофилтрационни мембрани и материалите, от които те се изработват, влагането им в интегрираните мембранни реактори и приложенията им. Направено е и описание на научните тенденции в теоретичните изследвания върху нанофилтрационните мембрани, като докторантката правилно е акцентирала и описала публикуваните и постигнати резултати по темата чрез CFD. Разгледани са примери за използването на CFD при

изследване на различните подходи за моделиране на мембраната, за оптимизиране на хидродинамиката на мембранни реактори и мембранни модули при едно и многофазни потоци, при потоци с различна реология и т.н., както и за оценка на масопредаването и ефективността при съответните мембранни процеси. Изводите от гл. I са формулирани ясно в гл. II (2 стр.) и показват необходимостта от проведеното в ДТ изследване; от тях естествено произтичат целта и поставените задачи (глава III, 2 стр.) в представеният ДТ.

Целта и задачите на ДТ са коректно дефинирани и ясно обяснени. Формулираните задачи са 6, както следва: 1) Моделиране на хидродинамиката на филтрационни клетки с мембранни модули, чрез прилагане на компютъризирана методология на CFD; 2) Определяне на сръзващите напрежения, динамичното налягане и хидродинамичните режими на смесване, в зависимост от спецификата на конкретната система; 3) Анализ на наличните корелации за коефициентите на масопредаване в близост до полупропускливата мембрана, както и на тези, прогнозираны от CFD симулациите; 4) Изследване на масопредаването в различни конструкции на клетки за нанофилтруване: в граничния слой до мембранната повърхност, за клетката като цяло и определяне на коефициентите на масопредаване от флуида към мембраната; 5) Ще бъде предложен метод за оценка на ефективността на филтрационния процес чрез ключови параметри, които свързват хидродинамиката с разделителния процес с цел определяне на оптималните условия на процеса; 6) Сравнение на CFD симулациите с експериментални данни. Докторантката е представила две работни хипотези за хидродинамичната и масопреносната част в поставените изследователски задачи; обектите на изследване са 3 вида филтрационни клетки (ФК) с различна форма и с различни начини на подаване на пермеатния поток (с бъркачка, тангенциално и кръстосано). Считаю, че е осигурен достатъчно широк обхват и разнообразие на обектите при поставените изследователски задачи в ДТ.

В глава IV (24 стр.) е изложено подробно описание на алгоритъма за действие на CFD (формулировка, геометричен модел, омрежаване, итерационна процедура за получаване на решението, анализ) и на видовете модели, които могат да бъдат използвани за изследване на хидродинамиката при различни режими на потоците и за определяне на коефициента на масопредаване през мембраната. Обяснено е и как ще бъде изчисляван коефициентът на масопредаване (уравнение на Рейс-Ханрати) от получените числени хидродинамични резултати за разпределението на локалните скорости и напреженията на сръзване. Също така докторантката е предложила и нов подход за оценка на ефективността на масопреноса в мембрана при филтруване на база получените числени решения.

В Глава V (47 стр.) са описани и анализирани получените числени резултати чрез CFD методологията за трите вида изследвани ФК в ДТ: 1) Dead-End ФК с бъркачка и плоска дънна мембрана; 2) Cross-Flow (CF) ФК - кръгла с тангенциално подаване на флуида, и 3) Cross-Flow правоъгълна ФК. При две от изследваните ФК

хидродинамичният режим е турбулентен, а при третата – ламинарен; за моделиране на турбулентния режим към RANS уравненията на Навие Стокс е добавен “Realizable k- $\epsilon$ ” модел. За всяка от изследваните ФК са определени коректно ГУ в омежените геометрични модели на ФК, както и началните стойности и критерият за сходимост за променливите (скорост, турбулентна кинетична енергия и скорост на дисипация на турбулентната кинетична енергия), в итерационната процедура. Докторантката е направила и необходимите тестове за независимост на резултатите от мрежата, и е намерен добър компромис между изчислителното време и отклоненията на параметрите.

При моделирането за всяка ФК е използвана предварителна информация и данни от физични експерименти (без личното участие на докторанта) - за филтруване на полифеноли и флавоноиди от етанолови екстракти на растителни суровини, както и на захари и феноли от водни разтвори на растения, с цел коректно и реалистично определяне на условията на симулациите. Получени са числени резултати за всяка от изследваните ФК за разпределението на скоростите, напреженията на срязване и за коефициентите на масопредаване, които са представени чрез достатъчен брой фигури. За DE ФК е изследвано влиянието на оборотите на бъркачката и влиянието на диаметъра ѝ върху разпределението на напреженията на срязване и респективно, върху коефициента на масопредаване. При кръглата CF ФК е изследвано влиянието на скоростта на захранващия поток върху същите величини, както и са направени симулации за дебелината на концентрационния граничен слой в зависимост от различни числа на Рейнолдс при фиксирана стойност на Sc. При правоъгълната CF ФК е изследвано влиянието на дебата на захранващия тангенциален поток върху напреженията на срязване.

Направено е успешно сравнение на получените резултати с наличните литературни данни. За DE ФК са сравнени средните напрежения на срязване с експериментални данни, получени чрез електрохимичен способ. За кръглата CF ФК е сравнен коефициентът на масопредаване с респективни експериментални и моделни данни, от два различни източника. За CF правоъгълната ФК е показано качествено потвърждение на получените резултати за разпределението на скоростите и на хомогенността на полето на напреженията на срязване около повърхността на мембраната, с данни от експериментални наблюдения на филтрация на захари и феноли от водни екстракти на Eurasian water milfoi. Направените сравнения потвърждават валидността на получените в ДТ числени резултати и способността на избрания подход за прогнозиране на хидродинамичната картина и на коефициента на масопредаване за различни ФК (визирам геометрията и начина на подаване на потока) и при различни хидродинамични режими. В същата глава е представен и сравнителен анализ на резултатите от симулиране чрез CFD на нанофилтруване в режими DE и CF филтруване; приложен е и новият подход за оценка на ефективността на нанофилтруването в двете ФК.

В глава VI (2 стр.) са представени приносите на ДТ, които са разделени в три групи, както следва : 1) Оценка на влиянието на хидродинамичната картина и разпределение на напреженията на срязване при мембранни филтрационни процеси чрез изчислителната динамика на флуидите (2 приноса); 2) Описание и прогноза на масопренасянето при мембранни филтрационни процеси чрез CFD (2 приноса) и 3) Метод за оценка на ефективността (1 принос).

В Глава 7 (26 стр.) са описани детайлно и с точна библиография цитираните литературни източници. Оценявам високо линковете (отпратките) към всеки от тях, това дава възможност за бърза проверка и коректност при проверка на всеки източник. Също така трябва да отбележа и оценявам изготвените от докторантката вътрешни препратки от съдържанието на електронната версия на ДТ и изобщо начина на оформление на целия текст, както и качеството на фигурите.

- **Основни научни и научно-приложни приноси.**

Видно е, че ДТ е лично дело на докторантката във всички изброени по-горе негови части; същото важи и за представеният автореферат на ДТ. Авторефератът правилно описва основните резултати, представени в ДТ. Основните резултати в ДТ са получени самостоятелно от докторантката и показват компетентността ѝ в моделиране на нанофилтрационни мембранни процеси чрез CFD; гаранция за това са предишният ѝ опит и представеният научен актив към момента. Съгласна съм с представените в гл. VI приноси и структурирането им в три различни групи. Общо, бих определила приносите като научни - получаване на нови теоретични знания чрез изчислителната динамика на флуидите, за хидродинамичната картина и разпределение на напреженията на срязване, както и за прогнозиране на масопренасянето при мембранни филтрационни процеси. Методът за оценка на ефективността на мембраната бих определила като научно-приложен.

- **Описание и оценка на представените материали:**

Предоставени ми бяха в срок всички необходими документи (на хартиен и електронен носител) по процедурата за защита на този ДТ, както следва: дисертация, автореферат (на български и на английски), автобиография, списък и пълен текст на публикациите към ДТ – 4 броя, всичките на английски, 2 с SJR и 1 с IF(Q1), справка и копия от протоколи за взетите от докторантката изпити, справка за изпълнение на изискванията и получените кредити съгласно Правилника на ЦО на докторанти при БАН. Приложен е и сертифициран доклад за липса на плагиатство за текста в ДТ. Докладвани са резултатите в ДТ на 8 конференции, от които 2 в чужбина. Всички необходими количествени критерии са изпълнени и надхвърлени: а) покрити са минималните изисквания за придобиване на ОНС “Доктор” в ПН 4.2 „Химически науки“, съгласно

Правилника на ЦО на БАН за докторанти (събрани са 441 точки от задължителни 250), и б) покрити са допълнителните изисквания на ИИХ-БАН за придобиване на ОНС „Доктор“, съгласно Методиката за израстване на учените в ИИХ-БАН, Приложение 1 (55 от задължителни 30 точки).

- **Отражение на научните публикации на кандидата в българската и чуждестранната литература.**

Публикациите, представени от докторантката, са цитирани 33 пъти съгласно представените от нея материали, което недвусмислено показва, че изследванията ѝ са високо ценени от научната общност.

- **Критични бележки и препоръки към научните трудове на кандидата.**

Нямам съществени забележки. Има няколко дублирания на означения (стр. 5), пропуснати и неправилно написани индекси или величини в текста (стр. 21, 55, 57, 93). Бих обединила изводи 2 и 3 от глава I. Направените забележки са предимно от технически характер и не влияят върху положителното ми мнение за представеният ДТ.

- **Лични впечатления на рецензента за кандидата.**

Познавам Стела Паньовска от идването ѝ в ИИХ. Имам много добри впечатления от нейната научна работа и личните и качества.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На база гореизложеното, смятам, че кандидатът по процедурата за придобиване на ОНС „Доктор“ по специалност: „Процеси и апарати в химичната и биохимичната технология“, ПН „4.2. Химически науки“ в ИИХ-БАН, маг.инж. **Стела Пламенова Паньовска**, удовлетворява и покрива напълно изискванията на Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени и заемане на академични длъжности в БАН, както и допълнителните изисквания на ИИХ-БАН, за придобиване на ОНС „Доктор“. Въз основа на положителното ми мнение за представените от кандидатката дисертационен труд, автореферат, публикации към ДТ, значимостта им и съдържащите се в тях приноси:

**Предлагам на уважаемото жури да гласува положително следното предложение за решение:** „На маг. инж. Стела Пламенова Паньовска от Институт по инженерна химия -БАН, да бъде присъдена ОНС „Доктор“ по ПН 4.2 Химически науки, специалност „Процеси и апарати в химичната и биохимичната промишленост“.

Дата

14.01.2026г.

Рецензент

  
/проф. д-р Татяна Петрова, ИИХ-БАН/