

**ОТЗЫВ**  
**на автореферат диссертационной работы**  
**Салем Самия Фарук Ибрахим**  
**«Моделирование транспорта магнитных наночастиц**  
**в кровеносных сосудах под действием внешнего магнитного поля»,**  
**представленной на соискание ученой степени**  
**кандидата физико-математических наук**  
**по специальности 1.5.2. – Биофизика.**

В настоящее время методы математического моделирования становятся все более важными инструментами изучения закономерностей, лежащих в основе функционирования сложных биологических систем. С периода разработки и внедрения оптических систем в лабораторную и клиническую практику изучение биохимических и биофизических явлений продвинулось на клеточный и даже субклеточные уровни. Проведение так называемых лабораторных исследований (*in vitro* и *ex vivo*) не всегда возможно из-за отсутствия достаточного количества необходимых биотканей для многократных трудновоспроизводимых экспериментов и большой стоимости лабораторных животных. В связи с этим, для изучения закономерностей и получения определенных параметров в биосистемах все чаще применяют метод математического моделирования. Этому актуальному современному направлению биофизики посвящено диссертационное исследование Салем Самия Фарук Ибрахим по моделированию магнитноуправляемых процессов в сосудах.

Автором разработана и верифицирована вычислительная модель взаимодействия магнитных наночастиц и микрокапсул в потоке крови с магнитными полями в области их сильных градиентов. Проведены теоретические исследования транспорта магнитных наночастиц на примере частиц оксида железа ( $Fe_3O_4$ ) различных диаметров: 6, 12, 20 и 60 нм, а также модельных частиц диаметром 1100 нм, имитирующих магнитные свойства микрокапсул с внедренными в их оболочку магнитными наночастицами.

Также, разработан алгоритм решения задачи транспорта магнитных наночастиц в кровеносных сосудах в модели крови, как несжимаемой ньютоновской жидкости, движение которой в сосуде описывается с помощью метода вычислительной гидродинамики на основе решения уравнений Навье-Стокса. Автор в работе коснулась вопроса изучения влияния силы сопротивления и внешнего магнитного поля на движение магнитных наночастиц в кровеносных сосудах, включая сосуды с бифуркациями. Также, проведено компьютерное моделирование явлений, возникающих при транспорте магнитных наночастиц и микрокапсул для заданной геометрии сосудов и поля, создаваемого магнитами с известными конфигурациями концентраторов.

Касаясь вопросов математического моделирования сложных систем, необходимо придерживаться принципа оптимальности. Это означает, что модель должна быть максимально простой, т.е. содержать минимальное число переменных и, следовательно, уравнений, а также сравнительно простые связи между переменными. Относительно простые нелинейные модели содержат богатые возможности описания нетривиальных явлений, а сложные модели, содержащие большое число переменных, как правило, не позволяют провести качественный анализ и поэтому оказываются практически бесполезными. В данном контексте, хочу отметить, на мой взгляд выбор оптимальной модели крови, как ньютоновской жидкости с постоянной вязкостью, что при некотором упрощении модели позволяет провести достаточно реалистичное моделирование, необходимое для планирования экспериментальных исследований по транспорту магнитных наночастиц в модельных и живых системах.

Салем Самия Фарук Ибрахим, используя численный метод решения (метод конечных элементов) и программное обеспечение COMSOL Multiphysics®, получила новые результаты для характеристики переноса (транспорта) и улавливания магнитных наночастиц, таких как частицы оксида железа ( $Fe_3O_4$ ), различных диаметров, и магнитных микрокапсул, движущихся в потоке крови в кровеносных сосудах, в том числе в сосудах с бифуркациями, при действии внешнего магнитного поля, создаваемого постоянными магнитами с конфигурациями, используемыми в преклинических исследованиях.



Считаю, что диссертационная работа Салем Самия Фарук Ибрахим «Моделирование транспорта магнитных наночастиц в кровеносных сосудах под действием внешнего магнитного поля», является законченным самостоятельным научным исследованием и соответствует специальности 1.5.2. – Биофизика.

Судя по автореферату, диссертационная работа Салем Самия Фарук Ибрахим по своей актуальности, научной новизне, теоретической и практической ценности соответствует всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года.

Считаю, что соискатель, Салем Самия Фарук Ибрахим заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.5.2. – Биофизика.

К.ф.-м.н., доцент кафедры

лазерных и биотехнических систем

Email: iabratchenko@gmail.com

Братченко Иван Алексеевич

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева».

443086, Приволжский федеральный округ, Самарская область, г. Самара, Московское шоссе, д. 34.

Сайт: ssau.ru

Подпись И.А. Братченко заверяю

«28» февраля 2022 г.

Гербовая печать

