

**ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**  
**на диссертацию Белоусова Кирилла Ильича «Моделирование**  
**конвективно-диффузионного массопереноса веществ при выборе**  
**конструкций и режимов функционирования микрофлюидных**  
**устройств», представленную на соискание ученой степени кандидата**  
**физико-математических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и**  
**методы экспериментальной физики**

Диссертация Белоусова К.И. на тему «Моделирование конвективно-диффузионного массопереноса веществ при выборе конструкций и режимов функционирования микрофлюидных устройств» посвящена актуальной для приборостроения проблеме разработки адекватных физических моделей и численному моделированию процессов массопереноса веществ с целью выбора конфигураций устройств и режимов, обеспечивающих заданную точность и воспроизводимость анализа. При разработке и создании новых приборов для исследований и анализа биологических объектов часто используются разнообразные микрофлюидные платформы. Однако, в большинстве случаев, существующих аналитических моделей и пакетов прикладных программ оказывается недостаточно, чтобы правильно рассчитать геометрию и выбрать характеристики микрофлюидного устройства, обеспечивающего решение заданных задач. Это непосредственно относится к микрофлюидным чипам: а) для электрофоретического разделения пробы; б) для ферментативного анализа с иммобилизованными реагентами в ячейке; в) для анализа или синтеза в каплях (макроэмульсиях) и др.

Задачи, которые рассматриваются и решаются в диссертационной работе, в частности: обоснование уравнений, граничных и начальных условий, определение параметров их численного решения, обеспечивающих заданную точность моделирования; а также применение численного моделирования: для оценки дисперсии пробы при ее электрокинетическом вводе в микрочипе, при исследовании пассивного и активного механического перемешивания реагентов в микрочипе, для оценки влияния геометрии генератора капель и расходов фаз на перемешивание реагентов на этапе формирования капель в микрофлюидном устройстве с фокусировкой потока и нахождения условий, обеспечивающих необходимое качество перемешивания имеют очевидную практическую значимость. Подходы, которые при этом используются, например, модификация чисел Куранта и Пекле при решении конвективно-диффузионной задачи для определения шага времени метода конечных элементов, применение численной модели, основанной на произвольном Лагранж-Эйлеровом методе для нахождения условий эффективного перемешивания реагентов, использование оригинальной процедуры нахождения параметра мобильности метода фазового поля для достижения требуемой точности расчета профиля скоростей и смещения границы раздела фаз, содержат научную новизну.

Основные физические модели и результаты численного моделирования были проверены экспериментально, при этом полученные данные имели высокие значения оценок коэффициентов корреляции с результатами численного моделирования, что свидетельствует об адекватности предлагаемых подходов.

Результаты диссертационной работы Белоусова К.И. нашли отражение в 23 опубликованных работах, в том числе, в монографии, научных журналах, сборниках научных работ и учебных пособиях, включая 7 статей в журналах, входящих в Перечень ВАК РФ. Кирилл Ильич участвовал в работе 11 научных конференций.

За период своего обучения Белоусов К.И. принимал участие в выполнении работ по грантам: Министерства образования и науки РФ («Разработка микрофлюидной платформы для фиксации и исследований биологических объектов методами микроскопии высокого разрешения», договор №14.132.21.1777 от 01.10.2012); Российского фонда фундаментальных исследований («Разработка микрофлюидного устройства для исследования подвижности клеток», проект № 14-08-31641); Российского научного фонда («Аналитическая система для оперативной оценки интегральной токсичности физиологических жидкостей, природных и промышленных вод на основе микрофлюидных технологий и методов ферментативного биотестирования», проект №15-19-10041); Российского фонда фундаментальных исследований («Разработка микрофлюидного устройства длительного жизнеобеспечения единичных клеток *in vitro* для изучения фундаментальных механизмов гетерогенности клеточного цикла», проект № 16-38-00813). В 2016 году выиграл конкурс грантов для студентов вузов, расположенных на территории Санкт-Петербурга, аспирантов вузов, отраслевых и академических институтов, расположенных на территории Санкт-Петербурга.

Кирилл Ильич демонстрировал устойчивое стремление к повышению своей квалификации: участвовал в летних школах университета города Ювяскюля (Финляндия) в 2013 и 2014 годах (Курсы: “Optical and Electronic Properties of Carbon Nanotubes and Graphene”, “Theories of Everything: Thermodynamics, Statistical Physics, Quantum Mechanics”, проходил стажировку в университете Уорика (Великобритания) в 2016 и 2017 году.

Наряду с исследовательской работой, в период обучения в аспирантуре Белоусов К.И. привлекался к учебной деятельности в Университете ИТМО и показал себя грамотным, эрудированным преподавателем.

В целом Белоусова К.И. можно охарактеризовать как грамотного, высококвалифицированного специалиста, способного формулировать цели и задачи научных исследований, выбирать эффективные методы их решения, самостоятельно выполнять комплексные исследования и представлять полученные результаты.

Считаю, что диссертация Белоусова К.И. соответствует требованиям п. 9 Положения ВАК РФ «О присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 года, а соискатель достоин присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Научный руководитель  
д.т.н., с.н.с.  
зам. директора по научной работе,  
лаборатория информационно-измерительных био- и  
хемосенсорных микросистем,  
Федеральное государственное бюджетное учреждение  
науки Институт аналитического приборостроения  
Российской академии наук (ИАП РАН)



Евстрапов Анатолий Александрович

Контактные данные:

198095 Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 31-33, лит. А.

e-mail: [an\\_evs@mail.ru](mailto:an_evs@mail.ru)

тел. +7 (812) 363-0729

моб. тел. +7 (921) 630-9595