

ОТЗЫВ

официального оппонента
на диссертацию Лобасова Александра Сергеевича
**«Особенности режимов течения и смешения жидкостей в Т-образном
микроканале»**,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы».

Актуальность темы диссертации.

В последние десятилетия, как правильно отмечает автор диссертации, все более интенсивно ведутся исследования и разработки новых вариантов технических устройств (или элементов технических систем) существенно меньших по сравнению с традиционными вариантами характерными размерами. Тенденция миниатюризации отчетливо проявляется во многих отраслях техники. В той связи интенсивно растет число публикаций в отечественных и зарубежных журналах по процессам (физическим и химическим) в мини- и микроканалах. В дополнение к миниатюризации каналов много задач возникает по течениям наножидкостей вообще и течениям в мини – и микроканалах, в частности. При этом, несмотря на высокий интерес исследователей к таким задачам, имеющим, безусловно, как фундаментальное, так прикладное значение, нет оснований для вывода о том, что разработанная общая теория гидромеханических процессов для каналов малых характерных размеров. Более того, имеют место не только разные интерпретации установленных в результате теоретических исследований закономерностей, но даже и существенно отличающиеся как по численным значениям, так и по видам связей с основными значимыми факторами, функциональные зависимости, полученные экспериментально. Так, например, пока нет полной определенности в оценках влияния второй компоненты на теплофизические характеристики и вязкостные свойства наножидкостей. Теория течений в мини – микроканалах также пока имеет скорее качественный характер и не всегда является инструментом достоверного прогноза основных характеристик гидродинамических, тепловых и массообменных процессов в таких каналах. В связи с вышеизложенным тема диссертации А.С. Лобасова, целью которой

является систематическое изучение течения и перемешивания жидкостей в Т-образных микроканалах для повышения эффективности микрофлюидных миксеров, актуальна.

Общая характеристика работы.

Диссертация А.С. Лобасова состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Текст рукописи включает 154 страницы (5 таблиц и 94 рисунка). Список литературы включает 213 наименований источников.

Во введении автор в традиционном стиле обосновывает актуальность темы своего исследования, формулирует цель и задачи, научную новизну, обосновывает практическую значимость своих исследований. В этом разделе рукописи диссертации также приведены выносимые на защиту положения, представлено обоснование достоверности полученных результатов, сведения об их апробации и публикациях.

В первой главе представлены результаты анализа технологий смешения в миксерах, сравнение характеристик этих технических устройств, рассмотрены различные способы интенсификации процессов смешения жидкостей в миксерах. В этой же главе рассмотрены основные физические процессы, происходящие в миксерах, и математические модели в виде систем алгебраических уравнений, описывающие некоторые интегральные характеристики протекающих в миксерах процессов.

Во второй главе приведена используемая автором в дальнейшем математическая модель исследуемых процессов, метод решения задач диссертации и результаты верификации использовавшегося алгоритма численного решения. Тестирование проведено с использованием известных экспериментальных данных и результатов решения другими авторами аналогичных, но менее сложных задач в рамках моделей вязкой несжимаемой жидкости.

В третьей главе представлены результаты исследований процессов течения и смешения двух жидкостей с идентичными свойствами в Т-образном миксере. Установлены зависимости режимов течения, эффективности смешения и перепада

давления от числа Рейнольдса (Re) в микромиксере заданных размеров. Выделен участок скачкообразного изменения эффективности смешения (M). Установлено снижение эффективности смешения с ростом Re при малых значениях этого критерия. По результатам численного моделирования выделены четыре характерных диапазона изменения чисел Re , каждому из которых соответствуют определенные изменения параметра M . Выделен процесс образования двух подковообразных вихрей в канале смешения при увеличении Re . Исследованы процессы трансформации этих вихрей с изменением числа Рейнольдса и сформулирована гипотеза по механизму гидродинамических процессов в каналах смешения, приводящему к изменению эффективности смешения жидкостей. По результатам исследований диапазон изменения Re разбит на шесть областей, соответствующих определенному режиму течения смеси двух жидкостей. В этой же главе исследовано влияние размеров канала смешения на эффективность процесса.

В четвертой главе приведены результаты изучения процесса смешения двух жидкостей с разными свойствами. Установлено, что вязкость оказывает существенное влияние на течение и смешение двух жидкостей в микроканале. Введена в рассмотрение эффективная вязкость смеси, использовавшаяся при вычислении числа Re . Также рассмотрено влияние плотностей смешиваемых жидкостей на эффективность смешения. Установлено, что разность плотностей влияет только на область, соответствующую течению до наступления перехода от симметричного к несимметричному режиму течения. Также проведен анализ процессов смешения реологические сложных жидкостей, воды и ее суспензией в виде наножидкостей на основе частиц оксида алюминия. Результаты численного моделирования приведены в виде аппроксимационных выражений, связывающих критическое (соответствующие переходу к втягивающему режиму течения) число Рейнольдса с объемной концентрацией наночастиц, а также с их средним размером.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертационного исследования.

Общая методология и методика исследования.

По своему содержанию и основным результатам диссертация А.С. Лобасова в наибольшей степени соответствует научному направлению «Вычислительная гидродинамика». Автор привел математическое моделирование исследовавшихся им процессов ламинарного течения вязкой несжимаемой жидкости с использованием модели, включающей уравнения Навье-Стокса и уравнение диффузии с соответствующими краевыми условиями и дополнительными выражениями для вязкости и других характеристик среды. При выборе математической модели автор использовал современные представления о процессах течения жидкостей в мини – и микроканалах и методы вычислительной гидродинамики.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендации, сформулированных в диссертации.

Достоверность результатов выполненного автором численного моделирования подтверждается тестированием и верификацией метода и алгоритма решения задач диссертации путем сравнения с результатами решения менее сложных задач гидромеханики и экспериментальными данными других авторов.

Научная новизна полученных результатов.

А.С. Лобасов получил группу результатов, соответствующих критерию новизны, что подтверждается публикациями восьми статей в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ для публикации материалов кандидатских и докторских диссертаций. Наиболее значимыми, по мнению оппонента, являются следующие:

1. Разработана математическая модель процессов течения и смешения жидкостей в Т-образных микроканалах.
2. По результатам численных исследований с использованием разработанной автором диссертации модели установлено влияние вязкостных свойств ньютоновских жидкостей на эффективность их смешения и режимы течения в Т-образном миксере.

3. Также установлено влияние реологических свойств неньютоновских жидкостей на эффективность смешения и режимы течения в Т-образном миксере.
4. Выделены особенности смешения обычной жидкости и наножидкости в Т-образном миксере. Показана зависимость эффективности смешения жидкостей и перепада давления от числа Рейнольдса и свойств наножидкости. Установлены аппроксимационные выражения для зависимости критического значения числа Re от концентрации и размеров наночастиц.

Практическая значимость.

Полученные автором диссертации при обобщении результатов выполненных им численных исследований корреляционные выражения для зависимостей перепада давления в каналах и эффективности смешения от параметров среды могут быть использованы при разработке новых и повышении эффективности используемых микромиксеров и микрореакторов для химической и фармацевтической промышленности.

Замечания по диссертационной работе.

1. Автор в четвертой главе диссертации утверждает, что исследовал процессы смешения двух жидкостей с различными теплофизическими характеристиками. В действительности исследовалось влияние вязкости и плотности среды на характеристики течения. К теплофизическим же характеристикам материалов, веществ, жидкостей и газов в первую очередь относятся теплопроводность и теплоемкость. В рецензируемой диссертации влияние этих двух факторов на эффективность смешения и перепада давления в микроканалах не изучалось. Поэтому неоднократное упоминание в тексте четвертой главы словосочетания «теплофизические характеристики», по крайней мере, необоснованно.
2. При постановке задачи во второй главе не приведены краевые условия для системы уравнений (стр. 52), которая являлась базой математической модели, использовавшейся автором в своих исследованиях. Упоминание

о граничных условиях на стенках канала не достаточно для понимания читателем в полной мере постановки задачи. Так, например, нет указаний на то, какие условия были заданы на выходе из канала смешения. Но, скорее всего, наибольший интерес представляют условия на границе раздела двух жидкостей в центре начального участка канала смешения или, если течение в каналах до смешения не моделировалось, условия на входе в канал смешения.

3. Не вполне адекватно использование словосочетания «эволюция массовых концентраций» на стр. 52. Скорее всего, автор имел в виду изменение концентраций. Термин «эволюция» характеризует развитие, а не просто изменение численных значений.
4. Основной функцией цели диссертации А.С. Лобасова является эффективность смешения M , значение которой вычислялось по рассчитанным концентрациям f . Последняя же характеристика, если ориентироваться на постановку задачи на стр. 52, определяется решением уравнения диффузии (2.2.). В то же время все иллюстрации этих решений приведены в виде изолиний концентраций жидкости (например, рис. 30 стр. 67, рис. 36 стр. 74) без шкалы, обеспечивающей возможность численной оценки концентраций. Так и рисунки имеют только качественный характер. По ним нельзя оценить истинное значение f .
5. При описании исходных данных и алгоритма численного моделирования в третьей главе на стр. 65 записано «через другой канал подается подкрашенная вода с тем же самым расходом». Смысл такой формулировке при описании задачи численного моделирования непонятен.
6. Основным варьируемым параметром при исследовании процессов течения и смешения является число Рейнольдса. При его определении на стр. 23 в качестве характерного размера используется гидравлический диаметр канала d_n , который в дальнейшем также используется при определении числа Re неньютоновских жидкостей на стр. 54. Но

использование этого параметра обосновано при вычислении Re для течений в каналах с неизменяющимися с ростом продольной координаты свойствами среды. Во всех же рассматриваемых в диссертации вариантах задач вследствие изменения концентраций компонент по длине канала изменяется и вязкость (формула на стр. 52). Поэтому выбор гидравлического диаметра в качестве характерного размера области решения целесообразно было обосновать. Как показывают большинство иллюстраций с ростом продольной координаты существенно изменяются все характеристики течения.

7. В рукописи и автореферате встречаются формулировки не вполне логически обоснованные, например, словосочетание «математические формулы».
8. На стр. 27 (первая глава) рукописи, автор отмечает, что «микромиксеры также обычно характеризуются тремя безразмерными параметрами жидкости: число Рейнольдса, число Пекле и число Струхаля». Анализ результатов численного моделирования в третьей и четвертой главах проведен с использованием чисел Re и St . В то же время число Пекле, характеризующее соотношение между конвективными и молекулярными процессами переноса, при описании результатов вычислений не используется, хотя это единственный критерий (из трех выделенных в обзорной главе), описывающий молекулярную диффузию.

Значимость для науки и практики полученных в диссертации А.С. Лобасова результатов, положений и выводов сделанные замечания не снижают. Диссертация А.С. Лобасова является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно, содержит результаты теоретических исследований, соответствующие критерию новизны. На основании анализа содержания диссертации можно сделать вывод, что в ней приведено новое решение задачи гидромеханики и массопереноса в Т-образном микроканале, имеющей существенное значение для развития научного направления «Вычислительная гидромеханика».

Диссертация А.С. Лобасова соответствует специальности 01.02.05 - Механика жидкости, газа и плазмы. Автореферат диссертации полностью соответствует тексту рукописи, которая написана правильным русским языком, в доказательном стиле и хорошо иллюстрирована. Диссертация хорошо апробирована.

Заключение о соответствии диссертации критериям.

На основании анализа содержания рукописи и автореферата диссертации А.С. Лобасова «Особенности режимов течения и смешения жидкостей в Т-образном микроканале» можно сделать обоснованное заключение о ее соответствии требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 21.04.16 г. № 335), а ее автор Александр Сергеевич Лобасов заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 - Механика жидкости, газа и плазмы .

Официальный оппонент,
Главный научный сотрудник
НОЦ И.Н. Бутакова
Инженерной школы энергетики
Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
Национального исследовательского
Томского политехнического университета,
доктор физико-математических наук,
профессор

 Кузнецов Гений Владимирович
30.04.2018

Адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, д.30,
ФГАОУ ВО НИ ТПУ

E-mail: marisha@tpu.ru tpu@tpu.ru

Сайт: <http://tpu.ru/>

тел.: 8(3822)606-248 8 (3822) 60-63-33

Подпись Г.В. Кузнецова удостоверяю:

Ученый секретарь Национального
исследовательского Томского
политехнического университета





Ананьева Ольга Афанасьевна