

ОТЧЕТ за 2024 г. о текущем состоянии лаборатории

АННОТИРОВАННЫЙ ОТЧЕТ

о выполненных работах, проведенных исследованиях и полученных результатах за отчетный период

Основные цели и задачи научных исследований в отчетном периоде состояли в получении новых фундаментальных результатов в области гидродинамики и энергетики, а также их практических приложений в биотехнологии. Это включает в себя изучение динамики концентрированных вихрей с помощью теории винтовых вихрей, разработку нового инструмента для прогнозирования формирования вихревой неустойчивости в проточной части гидротурбины и ограниченных вихревых реакторах на основе машинного обучения, проведение х/д.

1. Проведено исследование прецессирующего вихревого ядра в модельных условиях

1.1 Измерение профилей скоростей проведено на расстоянии 50 мм от тела обтекания гидротурбины Френсиса с использованием бесконтактного оптического метода исследования потоков системой лазерной доплеровской анемометрии (ЛДА) «ЛДИС-05И», производства ИТ СО РАН. Система ЛДА была смонтирована на трехосевом координатном устройстве, позволяющем позиционировать измерительный объем ЛДА по трем координатам с точностью до 12 мкм. Диапазон измеряемых скоростей составлял 0,01-30 м/с. Погрешность измерения скорости составила 0,5%. Отклонения интегрального расхода от измеренного расхода составляли не более 2%. Измерения скоростей проведено от оси отсасывающей трубы до стенки. Осевая симметрия потока позволила ограничиться полупрофилями скоростей. Каждый полупрофиль осевой и тангенциальной скорости измерен в 28 точках, с пространственным шагом в 2 мм. Характерное количество регистрируемых трассеров на каждую точку составляло более 1000, что достаточно для определения средней скорости в потоке с достоверностью не менее 95%.

Изучена структура течения за рабочим колесом модели гидротурбины Френсиса при дополнительной подаче управляющих струй. Радиальная подачи струи показывает наилучшее подавление вихревых структур, поскольку способствует снижению общей закрутки потока на выходе из рабочего колеса. Способ подачи струи напрямую влияет на формирование зоны возвратного течения за рабочим колесом. Результаты по определению оптимального угла инъекции струи согласуются с ранее полученными теоретическими оценками на основе линейного анализа устойчивости потока.

Результат 1.1 Измерение распределений скорости в закрученном потоке с прецессирующей вихревой структурой в различных конфигурациях аэродинамического и гидродинамического стендов, в том числе с принудительным управлением потока. D.A. Suslov, S.G. Skripkin, M.A. Tsoy, E.Yu. Gorelikov, S.I. Shtork. Active vortex control downstream the turbine runner in the Francis hydro turbine model. (2024) *Thermophysics and Aeromechanics*, 31 (4), pp. 819-830. <https://doi.org/10.1134/S0869864324040206>

2. Прогнозирование нестационарных вихревых явлений в гидротурбинах на основе современных алгоритмов машинного обучения

2.1 Поскольку изначально модель обучалась на данных, полученных с использованием аэродинамической модели гидротурбины, а апробация модели на заключительном этапе проводилась на данных с гидродинамического стенда вся исходная база данных была унифицирована и приведена к безразмерному виду, в данном случае подобное преобразование абсолютно не повлияло на конченные метрики.

Вместо частоты прецессии использовалось безразмерное число Струхала, которое как неоднократно было показано ранее в работах не зависит от числа Рейнольдса (при $Re > 50000$) и является только функцией закрутки потока.

В ходе анализа полученных результатов были выявлены ряд ограничений на использование обученной модели. Также несмотря на внушительный размер итоговой экспериментальной базы данных, на которой происходило обучение модели, общее количество уникальных режимов было дополнено до 1600 в ходе экспериментов, форма профилей для тангенциальной компоненты скорости на гидродинамической модели турбины в некоторых режимах существенно отличается от профилей для аэродинамической модели, что может снижать точность прогноза.

Результат 2.1 На основе данных, полученных на гидродинамической модели гидротурбины и ранее не участвующих в обучении модели нейросети проведена апробация модели.

3. Численное моделирование для верификации и дополнения полученных экспериментальных данных

3.1 Было проведено несколько нестационарных расчетов для аэродинамической модели гидротурбины с вращающимся рабочим колесом при малом угле конуса отсасывающей трубы в диапазоне параметров крутки $S = 0.8-0.9$. Основной целью данных расчетов было получение информации о частоте прецессии вихревого жгута именно методами вычислительной гидродинамики для дальнейшего сопоставления с результатами прогнозирования обученной регрессионной модели. Для этого расчет турбулентного течения проводился методом LES с подсеточной моделью WALE. Результаты предварительных расчетов показали сеточную сходимость начиная с $9 \cdot 10^6$ ячеек для всей области потока. Шаг по времени на детальной сетке составлял $1.5 \cdot 10^{-5}$ с, что соответствует числу Куранта $CFL < 1$. Так как LES расчёты требуют большой измерительной сетки и являются ресурсоемкими мы ограничились тремя характерными режимами. Проведено три расчета в режимах с формированием нестационарных вихревых структур при частоте вращения рабочего колеса 1900, 2100, 2300 об/мин и расходе среды $Q = 80 \text{ м}^3/\text{ч}$. Экспорт полей скорости был выполнен с шагом по времени 5 мс, такое временное разрешение выбрано как компромисс между временем расчета и характерным периодом вихревых структур порядка 100 мс. Пространственные координаты обезразмерены на радиус рабочего колеса $R = 50 \text{ мм}$. x – радиальная координата, y – осевая координата. V_x – тангенциальная компонента скорости, V_y – радиальная компонента скорости, V_z – осевая компонента скорости. Всего получено 1000 трехкомпонентных полей скоростей, а также полей давления на каждый режим. Для пространственно-частотного анализа был также использован метод SPOD, для визуализации вихревых структур использовался Q критерий.

Результат 3.1 С использованием нестационарного расчёта в коммерческом пакете STAR-CCM+ получены данные о структуре нестационарного вихревого течения в диффузорах при малых углах от-крытия потока в диапазоне сильной закрутки потока $S = 0.8-0.9$. Предложено объяснение нелинейным эффектам связанным с формированием ПВЯ, в том числе наличие в спектре пульсаций давления нескольких доминирующих частот, проявляющихся при фиксированной закрутке потока и варьировании угла конуса проточной части в диапазоне $0 - 8^\circ$.

4. Изучение подхода физико-информированной нейронной сети или нейронной сети с физическими ограничениями

4.1 Изучен подход физико-информированной нейронной сети или нейронной сети с физическими ограничениями, другими словами, модели, которая обучается на данных, руководствуясь при этом информацией о применяемых некоторых физических свойств или

законов/ограничений рассматриваемой системы. В качестве математической модели использовалась аналитическая формула для частоты прецессии (Алексеев и соавт., 2003). Также при обучении модели в задаче регрессии были сформулированы дополнительные условия на допустимые физические величины параметров вихревой системы. Был рассмотрен подход построения нейронной сети с физическими ограничениями, в которой в модель была заложена теоретическая модель, описывающая нестационарный винтовой вихрь в трубе. Формула с учетом вклада кривизны, кручения, внешних стенок и скорости на оси приведена позднее в монографии (Алексеев и соавт., 2003). Модели имеют определенный ряд ограничений, но модель Алексеев на сегодняшний день можно считать наиболее полной, в работе Litvinov и соавт. (2013) была проведена верификация модели, показавшая приемлемое отличие от экспериментальных данных, не превышающее 5%.

К недостатку модели можно отнести значительное количество параметров необходимых для вычисления частоты прецессии. Причем некоторые из этих параметров можно измерить напрямую, например значение осевой скорости на оси трубы, а для определения радиуса вихревого ядра нужно использовать очередную модель, так как само понятие размера вихревого ядра существует только в рамках той или иной модели вихря (вихрь Салливана, вихрь Бюргерса, вихрь Бэтчелора и т.д.). Тем не менее использование вышеупомянутой модели в качестве основы позволяет продемонстрировать физическую взаимосвязь параметров, подбираемых методами машинного обучения и физическим объектом (частоты прецессии).

Результат 4.1 Изучен подход использования физико-информированной нейронной сети или нейронной сети с физическими ограничениями для определения свободных параметров в аналитической модели винтовых вихрей.

5. Экспериментальные исследования вихревой структуры течения двух/трех несмешиваемых ньютоновских жидкостей при изменении параметров рабочей среды вблизи границы раздела сред при различных параметрах закрутки потока в замкнутых реакторных установках

Было проведено исследование развития циркуляционных ячеек и когерентных вихревых структур в вихревых реакторах методом адаптивной трековой визуализации и цифровой трассерной визуализации (particle image velocimetry-PIV). Эксперименты выполнялись в вертикальном оптически прозрачном цилиндрическом контейнере ($R = 47$ мм, $h = 470$ мм), изготовленном из полиметилметакрилата (оргстекла) с верхним вращающимся завихрителем. В качестве рабочей жидкости использовались различные водные растворы глицерина: 50% раствор (кинематическая вязкость $\nu = 5$ мм²/с, плотность $\rho = 1.127$ кг/л), 65% раствор ($\nu = 14.7$ мм²/с, $\rho = 1.170$ кг/л), 75% раствор ($\nu = 28.2$ мм²/с, $\rho = 1.196$ кг/л), 80% раствор ($\nu = 40$ мм²/с, $\rho = 1.209$ кг/л), 85% раствор ($\nu = 80$ мм²/с, $\rho = 1.223$ кг/л). Для устранения оптических aberrаций и термостабилизации цилиндр помещался в стеклянный прямоугольный контейнер, заполненный водой. Вихревое движение жидкости генерируется верхним диском с различной морфологией поверхности, который вращается с угловой скоростью Ω , в то время как другие стенки контейнера неподвижны. Интенсивность вихревого движения характеризуется числом Рейнольдса $Re = \Omega R^2 / \nu$, где ν – кинематическая вязкость жидкости. Так как вязкость жидкости зависит от температуры, температура контролировалась в течение эксперимента. Температура изменялась не более чем на 0.3°C. При экспериментальных исследованиях число Рейнольдса варьировалось от 100 до 3000.

Для наблюдения картины вихревого движения применялся метод адаптивной трековой визуализации и метод цифровой трассерной визуализации (PIV). В аппаратную часть системы визуализации входят CMOS камера Ximea MC023MG-SY (разрешение — 2.3 МП 1936×1216, частота съемки — 165 кадров в секунду, матрица — Sony IMX174 LLJ-C) с объективом Nikon AF Nikkor 28mm f/2.8D и лазерный излучатель с формирователем лазерного ножа. Система PIV состоит из двухимпульсного Nd:YAG-лазера Beamtech Vlite-200 (длина волны

532 нм, частота 15 Гц, длительность импульса 10 нс, энергия импульса 200 мДж), CCD-камеры IMPERX IGVB2020 (8 бит на пиксель, разрешение матрицы 2056x2060 пикселей), оснащенной объективом AF Nikkor 28mm f/2.8D, и синхронизирующего процессора. Расчет двумерных полей скорости проводился по полученным экспериментальным данным с помощью коммерческого программного обеспечения ActualFlow. Поток жидкости засеивался полиамидными частицами плотностью 1030 кг/м³ со средним размером частицы 10 мкм. Исследования проводились в вертикальном сечении, проходящем через ось реактора.

Результат 5.1. Изучены закономерности временного и пространственного развития и распада вихрей, эволюции и неустойчивости границы раздела, пограничных слоев в потоке двух/трех несмешиваемых жидкостей. Naumov I., Tintulova M., Sharifullin B. and Shtern V. Topological transformations of meridional motion in a three-liquid vortex // *Physics of Fluids*, 2024. Vol 36(6). 061703. doi: 10.1063/5.0218654.

6. Временной и пространственный анализ развития вихрей вблизи границы раздела двух сред, разрушения вихрей, эволюции и неустойчивости интерфейса, пограничных слоев в зависимости от относительных объемов применяемых жидкостей и различной интенсивности закрутки потока

Численное моделирование развития ячейки центробежной циркуляции в рабочей жидкости при использовании завихрителей различного типа (твердый диск, несмешиваемая жидкость или газообразный вихрь) было проведено с использованием пакета STAR CCM+. В трех рассматриваемых конфигурациях рабочая жидкость с физическими параметрами воды неизменно занимала одинаковый объем, а именно высота столба жидкости составляла $h = d = 94$ мм, где h – высота столба жидкости в цилиндрическом контейнере, а d – диаметр контейнера. Моделируемая область потока представляла собой цилиндрическую область. Расчетная сетка состояла из 10^6 ($1,1 \cdot 10^6$) ячеек. Течение считалось трехмерным, стационарным. Для моделирования динамики развития ячейки циркуляции применялись уравнения Навье-Стокса. Во всех постановках боковые стенки и дно цилиндрического контейнера считались неподвижными. В случае твердого завихрителя на верхней границе задавалась скорость вращения стенки. Для жидкого/газообразного завихрителя также задавалась скорость вращения верхней стенки цилиндра, ячейка в рабочей жидкости формировалась за счет передачи импульса от твердой стенки через газовый (воздух) или жидкий (растительное масло) завихритель. Границы раздела сред в этих случаях считались четкими, а для их определения использовался метод VOF (Volume of fluid) с применением схемы захвата границ раздела с высоким разрешением (HRIC).

Результат 6.1. В результате проведения тестовой визуализации и численных расчетов получена первичная информация о структуре течения и пространственном распределении несмешивающихся ньютоновских жидкостей различной плотности и вязкости вблизи границы раздела на установках различного масштаба.

7. На расширенной выборке репрезентативных видов из таксонов Vertebrata, Actinopterygii и Insecta, а также Ctenophora, Porifera и Placozoa, геномы и протеомы которых доступны в Ensembl, будет проведена реконструкция филогенетических отношений гомологов для соответствующих ключевых компонент молекулярно-генетических систем дифференцировки клеток миелоидного ряда

7.1. В рамках проекта РНФ-23-24-00536 был проведен мета-анализ 13 экспериментов scRNAseq клеток почки рыбы *Danio rerio* (382 тысячи клеток). Были идентифицированы генные сети миелопоэза, потенциальные транскрипционные факторы и новые гены-маркеры для основных

клеточных типов - макрофагов и нейтрофилов. Осуществлен массовый поиск потенциальных генов миелопоэза у представителей разных таксонов многоклеточных животных.

Результат 7.1. Результаты реконструкции генных сетей развития миелоидных клеток у всех вышеперечисленных организмов. Проведен анализ топологии и поиск функциональных модулей данных сетей и сделано предсказание ключевых механизмов видоспецифичной дифференцировки клеток миелоидного ряда.

8. Экспериментальное исследование влияния переменного магнитного поля на движение ферромагнитных частиц в замкнутом пространстве при вязкости жидкости менее 1 сСт

Проведены экспериментальные исследования влияние переменного магнитного поля на движение ферромагнитных частиц в жидкостях с вязкостью менее 1сСт с использованием установки, включающей в себя систему визуализации, объект исследования, а также полосовой неодимовый магнит прямоугольной формы, установленный на вращающийся с различной частотой столик. Система визуализации состояла из лабораторного штатива и камеры CMOS Ximea MC023MG-SY (разрешение — 2.3 МП 1936×1216, частота съемки — 165 кадров в секунду, матрица — Sony IMX174 LLJ-C) с объективом Nikon AF Nikkor 28mm f/2.8D, подключённой к персональному компьютеру и записывающей изменение положения частиц в растворе. При экспериментальных исследованиях использовалась коллоидная жидкость. Коллоидная жидкость представляет собой систему, состоящую из раствора силиконового масла и ферромагнитных частиц. Использовались два типа растворов силиконового масла: 65% и 85%. Кинетическая вязкость коллоидной жидкости при 20°C составляла 0,72сСт и 0,86сСт соответственно. Масса ферромагнитных частиц составляет примерно 5,8% от общей массы коллоидной жидкости для обоих рассмотренных растворов. Изучалось влияние переменного магнитного поля на формирование конгломератов магнитных частиц в растворах, времени их формирования в зависимости от вязкости раствора.

Результат 8.1. Исследовано влияние переменного магнитного поля на движение ферромагнитных частиц в жидкостях с вязкостью менее 1сСт.

9. Экспериментальное исследование возникновения кавитации в жидкостях, содержащих ферромагнитные частицы, под влиянием и без постоянного магнитного поля.

Экспериментальное исследование формирования кавитации в жидкостях, содержащих ферромагнитные частицы, под влиянием и без магнитного поля проводилось с использованием модельного тела обтекания цилиндрической формы, расположенного в канале длиной 50 мм, шириной 2 мм. Высота цилиндра совпадала с высотой канала. К каналу подводился раствор ферромагнитной жидкости с концентрацией частиц, не превышающей 3%. На входе задавалось различное давление жидкости в диапазоне от 0,5 бар до 8 бар. Движение ферромагнитных частиц в жидкости, а также кавитационные пузыри фиксировались скоростной камерой Photron fastcam s12 nova. Частота съемки варьировалась в зависимости от скорости перемещения частиц и при давлении 8 бар составляла 20 000 кадров в секунду. Освещение потока осуществлялось с помощью точечного светодиодного осветителя с мощностью 12 000 люменов. Магнитное поля создавалось неодимовым

магнитов в форме шайбы диаметром 50 мм. Магнит располагался на расстоянии 1,5 см от исследуемого образца. Исследования возникновения кавитации проводились как в магнитном поле, так и без него.

Результат 9.1. Получены закономерности развития кавитации в ферромагнитных жидкостях при направленном положении магнитного поля и без него.

НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Исследование прецессирующего вихревого ядра в модельных условиях

Результат 1.1. Были изучены особенности течения и формирования прецессирующих вихревых структур за рабочим колесом модели гидротурбины Френсиса при инъекции управляющей струи в зависимости от угла подачи струи и от расхода струи. Удалось добиться подавления ПВЯ при расходе струи 2-3% от основного расхода. Снижение расхода управляющей струи положительно влияет на общую эффективность турбины. Полученное подавление вихревых структур помогает расширить возможный диапазон работы гидротурбины, что также приводит к возрастанию эффективности и безопасности работы гидротурбины.

Среди аксиальных, радиальных и аксиально-радиальных актуаторов наилучший результат показал радиальный актуатор. Он позволяет подавлять ПВЯ при расходах управляющей струи уже в 2% от основного расхода потока и, более того, снижает закрутку потока. Таким образом, данный способ управления ПВЯ с помощью радиального актуатора обладает хорошим потенциалом для применения в будущем, но требует дополнительного изучения его эффективности. Показано, что с помощью актуации потока и варьирования геометрии актуатора возможно получать различные распределения скоростей. Это важно при развитии подходов регрессионного анализа для классификации закрученных течений. Дальнейшие исследования будут направлены на уточнение структуры вихревого течения с помощью цифровой трассерной визуализации и выделения вихревых структур с помощью методов понижения размерности, например, метода главных компонент (POD-анализ). Результаты работы могут быть полезны при разработке инженерных решений с целью повышения эффективности и устойчивости работы гидротурбин. (Суслов Д.А., Скрипкин С.Г., Шторк С.И.)

2. Прогнозирование нестационарных вихревых явлений в гидротурбинах на основе современных алгоритмов машинного обучения

Результат 2.1 Установлен один важный геометрический параметр, который необходимо контролировать, учитывать, и дополнительно исследовать – это форма тела обтекания за рабочим колесом и расстояние от него до области, в которой проводятся измерения профиля скорости. В работе Müller и соавт. (2022) показано, что данное место является наиболее восприимчивым с точки зрения возмущения потока и соответственно будет играть значительную роль в формировании нестационарных характеристик потока. С учетом вышеописанных моментов были даны рекомендации и оценена перспектива дальнейшего развития разработанного инструмента прогнозирования нестационарных характеристик вихревых структур в элементах проточной части гидротурбин. (Скрипкин С.Г., Куйбин П.А.)

3. Численное моделирование закрученного потока для модельных геометрий гидротурбин

Результат 3.1. Получены результаты численного моделирования для аэродинамической модели гидротурбины с вращающимся рабочим колесом при малом угле конуса отсасывающей трубы в диапазоне параметров крутки $S = 0.8-0.9$. Распределения тангенциальной компоненты скорости показывают увеличение закрутки потока по мере увеличения частоты вращения колеса, растет скорость на периферии потока. По мере увеличения оборотов рабочего колеса зона возвратного течения расширяется вниз по потоку, формируя также обширную застойную зону течения. Наличие развитой зоны возвратного тока является признаком формирования в потоке прецессирующего вихревого ядра. Сопоставление осевой скорости и пульсаций осевой скорости в режиме $n = 2100$ об/мин показывает наличие зоны возвратного течения, повторно формирующейся в дальнем следе от рабочего колеса. Это свидетельствует о сложной форме зарождающейся вихревой структуры. Трехкомпонентные поля скорости были также проанализированы с использованием SPOD разложения. Можно сделать вывод, что в режиме $n = 1900$ об/мин ПВЯ начинает формироваться, однако вихрь слабый, некогерентный, не имеющий четкой частоты прецессии. При увеличении частоты вращения рабочего колеса до 2300 об/мин и как результат увеличения закрутки потока вихрь становится более концентрированным, на фазовых портретах размытая окружность превращается в кольцо. Это свидетельствует о малом изменении значений временных коэффициентов, что указывает на наличие в потоке устойчивой, развитой когерентной вихревой структуры со слабым изменением амплитудно-частотных характеристик. Для частоты вращения рабочего колеса 2300 об/мин проведена визуализация вихревой структуры Q критерием в вертикальной плоскости демонстрирующая его периодическую спиральную структуру при сдвиге фазы на π . (Скрипкин С.Г., Суслов Д.А.).

4. Изучение подхода физико-информированной нейронной сети или нейронной сети с физическими ограничениями

Результат 4.1. Был рассмотрен подход нейронной сети с физическими ограничениями для определения свободных параметров в аналитической модели винтовых вихрей (Алексеев и соавт., 2003). Часть параметров для валидации модели были определены косвенным образом на основе анализа профиля пульсаций осевой компоненты скорости и анализа корреляции сигнала с датчиков давления, расположенных в одном сечении. Несмотря на то, что полученные после обучения модели параметры винтового вихря при подстановке в формулу 4 приложения дают значения частоты достаточно близкое к искомой (средняя ошибка не превышает 2%), разница между параметрами, которые удалось проверить существенная. Если для конической геометрии отсасывающей трубы с углом раскрытия 4 градуса радиус прецессии в диапазоне существования ПВЯ при частоте вращения рабочего колеса 1900-2500 об/мин монотонно увеличивается от 0.3 до 0.4 g/R , то предложенные моделью значения не превышают 0.1 g/R , с другой стороны шаг винтовой структуры $h = 2\pi \cdot l$ который также линейно растет в этом диапазоне начиная с $h = 0.38$ практически в несколько раз завышен ($h = 0.65$), однако общая динамика по росту сохраняется. Необходимо использовать более простую параметризацию профилей скорости для уменьшения количества свободных параметров, которые вносят вклад в частоту прецессии. (Скрипкин С.Г., Суслов Д.А.).

5. Экспериментальные исследования вихревой структуры течения двух/трех несмешиваемых ньютоновских жидкостей при изменении параметров рабочей среды вблизи границы раздела сред при различных параметрах закрутки потока в замкнутых реакторных установках

Результат 5.1 На основе проведенных экспериментальных данных определены закономерности развития центробежной циркуляции в жидкости при различных граничных условиях. В ходе работ были выявлены закономерности формирования циркуляционных вихревых ячеек в жидкости. Наблюдается подобие структуры течения в рабочей жидкости, независимо от способа создания закрутки (твердый диск,

жидкий промежуточный слой, воздушный вихрь). Получено, что, несмотря на наличие промежуточной жидкой или газовой среды, в рабочей жидкости может формироваться распад вихря, как и в случае закрутки твердым диском. Показано, что распад вихря является индикатором режима течения, а сравнивая с известными работами по распадам вихря в цилиндрическом контейнере можно определять режим течения для дальнейшего практического применения двухжидкостных и/или двухфазных течений в вихревых реакторных установках. Sharifullin B. R., Naumov I. V. Experimental study of the development of centrifugal circulation in a liquid under various boundary conditions // E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2024. Vol. 578. 01043. 7 p. DOI: 10.1051/e3sconf/202457801043, Tintulova M., Sharifullin B., Naumov I., Shtern V. Counter flows and stagnation of meridional motion in a three-fluid vortex // E3S Web Conference, 2024. 578. 01037. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202457801037>.

(Наумов И.В., Тинтулова М.В., Шарифуллин Б.Р.)

6. Временной и пространственный анализ развития вихрей вблизи границы раздела двух сред, разрушения вихрей, эволюции и неустойчивости интерфейса, пограничных слоев в зависимости от относительных объемов применяемых жидкостей и различной интенсивности закрутки потока

Результат 6.1. На основе анализа результатов экспериментального исследования формирования структуры ограниченного вихревого течения жидкости, закрученного потоком другой жидкости или газовым вихрем, показано, что аналогично случаю двух вращающихся жидкостей, у оси газовихревого реактора формируется сильно закрученная струя, а всё течение принимает структуру миниатюрного газо-жидкостного торнадо. Показано, что при вращении активатора в жидкости возникает меридиональное и циркуляционное течение. Установлено, что развитие центробежной циркуляции жидкости аналогично тому, как это происходит в замкнутом вихревом течении в случае одной жидкости и в нижней жидкости в системе двух закрученных несмешиваемых жидкостей. В отличие от закрутки потока диском, где угловая скорость постоянна, а максимум линейной скорости находится на периферии диска, в случае закрутки потока жидким или газовым вихрем на границе раздела не равна нулю радиальная скорость. Профили осевой компоненты скорости, полученные в газо-жидкостной системе и в системе двух несмешиваемых жидкостей показали, что формирование пузырьвидного распада жидкостей происходит одинаково не зависимо от типа завихрителя (твердый диск, несмешиваемая жидкость или газообразный вихрь). Результаты исследования опубликованы в работах Naumov I.V., Tintulova M. et al. Physics of Fluids, 2024 (Наумов И.В., Тинтулова М.В., Шарифуллин Б.Р.)

7. На расширенной выборке репрезентативных видов из таксонов Vertebrata, Actinopterygii и Insecta, а также Ctenophora, Porifera и Placozoa, геномы и протеомы которых доступны в Ensembl, будет проведена реконструкция филогенетических отношений гомологов для со-ответствующих ключевых компонент молекулярно-генетических систем дифференцировки клеток миелоидного ряда, в рамках работ по проекту РНФ 23-24-00536 (рук. Бобровских А.В.).

Результат 7.1. По результатам второго года опубликована научная статья: Bobrovskikh A.V., Zubairova U.S., Naumenko L.G., Doroshkov A.V. Catching the Big Fish in Big Data: A Meta-Analysis of Zebrafish Kidney scRNA-Seq Datasets Highlights Conserved Molecular Profiles of Macrophages and Neutrophils in Vertebrates. Biology, 2024, 13, 773. <https://doi.org/10.3390/biology13100773>.

Результаты позволили перенести ряд важных закономерностей вихревого перемешивания в область современных биотехнологий, определить функциональные зависимости между интенсивностью вихревого перемешивания и кривыми роста фототрофных микроводорослей (Наумов И.В., Скрипкин С.Г., Тинтулова М.В.).

8. Экспериментальное исследование влияния переменного магнитного поля на движение ферромагнитных частиц в замкнутом пространстве при вязкости жидкости менее 1 сСт

Результат 8.1. Выявлено, что за равные промежутки времени, длина конгломерата ферромагнитных частиц в коллоидной жидкости с кинематической вязкостью 0,72сСт равна 9.7мм, с кинематической вязкостью 0,86сСт равна 8мм. Изменение вязкости коллоидной жидкости приводит к формированию различных конгломератов частиц.

Изучено влияние частоты вращения магнита на коллоидную жидкость. Показано, что частота вращения магнита в диапазоне от 0 до 20 Гц не оказывает существенное влияние на формирование конгломератов частиц, тогда как при частоте вращения более 20 Гц конгломераты начинают разрушаться. Полученное различие во времени для выстраивания конгломератов в растворах различной вязкости оказалось схожим с ожидаемым. Время выстраивания частиц в капле с большим объёмом оказалось меньше нежели в капле с меньшим объёмом.

9. Экспериментальное исследование возникновения кавитации в жидкостях, содержащих ферромагнитные частицы, под влиянием и без постоянного магнитного поля

Результат 9.1. Выявлено, что кавитационная полость зарождается из-за резкого перепада давления при обтекании круглого цилиндрического препятствия в канале при давлении жидкости на входе 1,7 бар в без магнитном поле и при 1,5 бар при влиянии магнитного поля на движение ферромагнитных частиц. В целом кавитационная полость при аналогичных гидродинамических параметрах входящей жидкости была больше по размеру в случае наличия магнитного поля. Такое явление можно объяснить локальным уменьшением давления вблизи сформировавшейся кавитационной полости за счет локального увеличения скорости магнитных частиц при наличии магнитного поля.

ОБРАЗОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ

Сотрудники лаборатории (в.н.с. Наумов И.В., н.с. Скрипкин С.Г., н.с. Кравцова А.Ю.) проводят лабораторные работы по курсу «Практикум молекулярной физики» для студентов первого курса физического факультета НГУ.

В 2024 году на базе лаборатории выполняли дипломные работы студенты 4 курса Литвинова Д.В., Лоншаков Д.А.

Аспирант 3-го года м.н.с. Д.А. Сулов, трудоустроенный в лаборатории, в 2024 году продолжает работу над своей диссертацией «Спирально-вихревые структуры в проточной части модели гидротурбины», научный руководитель С.И. Шторк (в.н.с. ЛабПЭТ).

Магистрант 2-го года лаборант Тинтулова М.В., трудоустроенная в лаборатории, в 2023 г. начала работу над диссертацией «Экспериментальное исследование вихревой структуры течения жидкости с изменяющимися физическими свойствами в цилиндрическом контейнере», научный руководитель И.В. Наумов (зав. ЛабПЭТ).

Научные статьи, опубликованные членами научного коллектива по направлениям исследований лаборатории в научных изданиях, индексируемых в базе данных Web of Science Core Collection, за отчетный период									
№ п/п	Название статьи	ФИО авторов, являющихся членами научного коллектива лаборатории			Название издания	Год, месяц (том, выпуск)	Импакт-фактор издания	Квартиль (WoS)	ISSN
		Фамилия	Имя	Отчество					
1	Topological transformations of meridional motion in a three-liquid vortex	Naumov Tintulova Sharifullin	I. M. B.	V. V. R.	Physics of Fluids	2024-06, 36(061703)	4.1	Q1	025109-16
2	Swirling flow of two immiscible fluids in a cylindrical container: Lattice Boltzmann and volume-of-fluid study	Naumov	I.	V.	Physics of Fluids	2024-01, 36(013601)	4.1	Q1	025109-16
3	Catching the Big Fish in Big Data: A Meta-Analysis of Zebrafish Kidney scRNA-Seq Datasets Highlights Conserved Molecular Profiles of Macrophages and Neutrophils in Vertebrates	Bobrovskikh Naumenko	A. L.	V. G.	MDPI Biology	2024-09, 13(10)	3.6	Q1	2079-7737
4	Active vortex control downstream the turbine runner in the Francis hydro turbine model	Suslov Skripkin Shtork	D. S. S.	A. G. I.	Thermophysics and Aeromechanics	2024-04, 31(4)	0.5	Q4	1531-8699
5	Thraustochytrids: Evolution, Ultrastructure, Biotechnology, and Modeling	Bobrovskikh Naumenko	A. L.	V. G.	MDPI International Journal of Molecular Sciences	2024-12, 25(23)	4.9	Q1	1422-0067
6	Behavior of hydrofoil cavitation in a slit channel	Kravtsova Skripkin Litvinova	A. S. D.	Y. G. V.	International Journal of Heat and Mass Transfer	2024-11, 232(1).	5.0	Q1	1879-2189
7	Laser Doppler Anemometry of Cavitating Hydrofoil in a Slit	Kravtsova	A	Y	Journal of Engineering Thermophysics	2024-09, 33(3)	1.3	Q3	1810-2328
8	The effect of a textured surface in the form of triangular prisms on the occurrence and development of cavitation behind the cylinder in microchannels	Kravtsova	A	Y	Physics of Fluids	2024-07, 36(073309)	4.1	Q1	025109-16
9	Bifurcation of rotating surface switching at different spin-up accelerations	Naumov Skripkin	I. S.	V. G.	Physics of Fluids	2024-10, 36(101704)	4.1	Q1	025109-16

Международное и внутрироссийское сотрудничество

Организация	Формат сотрудничества	Результаты данного сотрудничества
Технологический институт Мадраса, Индия	Заключение меморандума о сотрудничестве между НГУ и Технологическим институтом Мадраса	Совместные исследования в области вихревого движения несмешиваемых сред.
Департамент энергетики и машиностроения, Университет Цинхуа, Китай	Заключение меморандума о сотрудничестве между НГУ и Университет Цинхуа	Проведение совместных онлайн семинаров, подготовлена совместная публикация, подготовлена заявка на конкурс РНФ Россия-Китай в 2024 г.

Информация о руководителе лаборатории

ФИО руководителя лаборатории	Наумов Игорь Владимирович
Занимаемые должности, область научных интересов руководителя лаборатории на дату отчетности	Ведущий научный сотрудник
Премии, награды, научные достижения, индекс Хирша руководителя лаборатории за отчетный период	- Член Экспертного совета Российского Научного Фонда по Президентской программе, с 2022 г., Россия. - Член Объединенного ученого совета СО РАН по энергетике, машиностроению, механике и процессам управления, с 2017 г., г. Новосибирск, Россия. - Юбилейная медаль 300 лет РАН Индекс Хирша: 16 WoS, 16 Scopus, 16 РИНЦ