

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации *Анатолия Вильича Хаита*  
**«Разработка и реализация методологических основ расчета сложных  
закрученных турбулентных одно- и двухфазных течений в гидро- и  
пневмоаппаратах на основе гипотезы Буссинеска»**,  
представленную на соискание учёной степени  
доктора технических наук по специальности 2.5.10 – «Гидравлические  
машины, вакуумная, компрессорная техника, гидро- и пневмосистемы»

Судя по автореферату, диссертационная работа *Анатолия Вильича Хаита* посвящена решению «крупной научной проблемы, связанной с разработкой методологии расчета и математического моделирования сложных закрученных турбулентных одно- и двух- фазных течений в гидропневмоаппаратах на основе усовершенствованных моделей турбулентности, и применения разработанных подходов для совершенствования гидравлических и пневматических устройств, включая алгоритмы автоматизированного управления ими. Указанные здесь **цели диссертационной работы** соответствуют 1 – 5 пунктам паспорта специальности.

Следуя естественному порядку изложения, автор убедительно обосновывает **актуальность** темы своей работы, указывает современный уровень ее **разработанности** исследовательским сообществом, формулирует **цель** проведенных исследований и перечень **задач**, решенных на пути к достижению этой цели, обосновывает научную **новизну** полученных результатов, их теоретическую и практическую **значимость**, приводит достаточные указания на использованные в работе **методологию** и методы исследования.

**Достоверность** выносимых на защиту положений *А.В.Хаит* аргументирует использованием математических моделей, основанных на фундаментальных законах сохранения массы, момента движения, энергии, а также уравнений состояния; использованием современных численных методов (методы конечных объемов, граничных элементов) и способом их реализации посредством методики параллельных распределенных вычислений); детальной валидацией математических моделей и верификацией использованных вычислительных алгоритмов, а также созданных программных кодов.

Полученные диссертантом результаты численного исследования сопоставлялись с лабораторными измерениями. Такое сопоставление подтвердило достаточное качественное и количественное соответствие.

20.03.2015

Следует отметить также использование современных методов планирования и проведения экспериментов, а также анализа экспериментальных результатов.

Аккуратно в автореферате указан личный **вклад**, приведены и сведения о соответствии диссертационного исследования **паспорту** специальности 2.5.10 – «Гидравлические машины, вакуумная, компрессорная техника, гидро- и пневмосистемы».

Краткое изложение **глав** изложено очень разумно и позволяет выделить главные результаты каждой из них. Так, в **первой** главе автор приводит литературный обзор современного состояния методов расчета и математического моделирования турбулентных течений жидкости и газа. В том случае, если жидкость представляет собой сплошную среду, течение описывается фундаментальными уравнениями сохранения массы, момента движения (уравнение Навье-Стокса), энергии, а также уравнениями состояния.

Во **второй** главе *А.В.Хаит* рассматривает течение сжимаемого газа (воздуха) в вихревой трубе, когда подводимый поток газа закручивается в сопловом вводе, после чего поступает в камеру энергоразделения, двигаясь вдоль стенок этой камеры, формирует винтовое течение. Вблизи развихрителя горячего потока часть газа разворачивается и формирует обратное винтовое течение в приосевой части камеры энергоразделения.

**Третья глава** диссертации посвящена наиболее интересной для рецензента из решенных автором диссертации задаче о течениях в гидроволновом лотке, вызванных распространением поверхностных волн, сгенерированных волнопродуктором. **Актуальность** этой части исследований *А.В.Хаита* обусловлена тем, что расчет и численное моделирование подобных течений играет важную роль при проектировании инженерных сооружений таких как стационарные и плавучие платформы, плавучие газовые хранилища, другие объекты прибрежной инфраструктуры, в том числе объекты защиты прибрежных конструкций от воздействия катастрофических волн, например, волн цунами. Чрезвычайно велика в решении таких задач роль гидроволновых лотков, выполняющих роль не только поставщика результатов лабораторных физических экспериментов, непосредственно используемых конструкторами и эксплуатационщиками, но служащих источником данных для валидации математических моделей и верификации численных алгоритмов и программ.

Очень важной здесь становится задача о высокоточной генерации требуемой формы поверхностной волны при помощи программно-управляемого гидравлического аппарата возвратно-поступательного действия – «волнопродуктора». Автор диссертации *А. В. Хаит* справедливо указывает на то, что невозможность точного аналитического решения соответствующих

нелинейных уравнений приводит к тому, что высокоточная генерация нелинейной волны остается недостижимой вплоть до настоящего времени, что, в свою очередь, может вызывать недопустимо большие ошибки лабораторных испытаний на определение силовых волновых нагрузок на инженерные объекты.

Для решения задачи высокоточного управления пневматическим волнопродуктором *А.В.Хаит* разрабатывает численную модель гидроволнового лотка с волнопродуктором. Непосредственно связаны с математическими и экспериментальными исследованиями характеристик гидроволновых лотков и подходов к повышению точности генерации волн шарнирным волнопродуктором **главы шестая, седьмая и восьмая**. По своему содержанию они посвящены, соответственно, разработке точного и надежного критерия обрушения волн, служащего для нахождения координаты начала обрушения гребня; разработке новых алгоритмов управления волнопродукторами для численных и лабораторных гидроволновых лотков и анализу физики процессов, протекающих в жидкости при работе волнопродукторов.

**Замечание.** Полагаю, что предлагая в **шестой главе** «надежный критерий обрушения волн» диссертанту желательно было бы сопоставить свой критерий с параметром  $B_r$ , выведенным с той же целью для модели, основанной на уравнениях теории мелкой воды, в работе *В.М.Кайстренко, Р.Х.Мазовой, Е.Н.Пелиновским и К.В.Симоновым* «Аналитическая теория наката волн цунами на плоский откос», опубликованной в сборнике [Накат цунами на берег. Сборник научных трудов. Горький – 1985. Ответственный редактор доктор физико-математических наук Е.Н.Пелиновский. Стр. 34-37].

**Замечание.** Что касается результатов, связанных с алгоритмами управления волнопродуктором, то их хорошо бы как-то сопоставить с результатами работ, в которых, правда, речь идет о волнопродукторах пневматического, а не шарнирного типа):

*И.С.Нуднер, К.К.Семенов, В.В.Лебедев, Г.С.Хакимзянов, Ю.Н.Захаров* «Численная модель гидроволновой лаборатории для исследования взаимодействия морских волн с гидротехническими сооружениями» // Вычислительные технологии. 2019. Т. 24, № 1. С. 86–105.

*И.С.Нуднер, К.К.Семенов, Г.С.Хакимзянов, Н.Ю.Шокина* «Исследование взаимодействия длинных морских волн с сооружениями, защищенными вертикальными экранами» // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2017;10(4):31-43.

*К.Е.Афанасьев, В.В.Максимов, И.С.Нуднер, К.К.Семенов, С.В.Стуколов* «Численное моделирование работы опытового волнопродуктора одиночных

волн» // Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики. Труды XI всероссийской конференции. Российская академия наук, ФГБУН Санкт-Петербургский научный центр РАН, Научный совет по проблемам фундаментальной и прикладной гидрофизики; Составители Б.П.Белов, А.А.Родионов, С.А.Смирнов. 2012. Издательство: Санкт-Петербургская издательская фирма «Наука» РАН. С. 201-203

Между тем, **четвертая** глава диссертации *А.В.Хаита* посвящена калибровке, валидации и исследованию модифицированной  $k-\epsilon$ -VD модели турбулентности для течения газа в вихревой трубе, а **пятая** – усовершенствованию геометрии и рабочих процессов вихревых труб Ранка-Хилша при помощи численных расчетов в рамках модифицированной модели турбулентности  $k-\epsilon$ -VD, а также при помощи экспериментальных исследований и испытаний натуральных образцов вихревых труб.

Тематика **четвертой** и **пятой** глав весьма далеки от научных интересов рецензента и потому в отзыве содержание этих глав лишь упоминается.

**Общие замечания.** Завершая отзыв, укажу, что текст автореферата не свободен от некоторых стилистических и терминологических неточностей, есть и опечатки. Имеет место некоторая путаница между упоминанием «математических моделей» и «вычислительных алгоритмов», реализующих эти модели, а также терминов «валидация» и «верификация». Традиционно неточным является употребление термина «**Апробация**». Рекомендую учесть, что под ним следует понимать «*официальное одобрение, утверждение чего-либо после испытания, проверки; предварительное одобрение составленного документа до его принятия*». На мой взгляд, следовало также более подробно остановиться на использованных диссертантом численных алгоритмах и тех модификаций, которые он вносил в их реализации стандартными пакетами. Полагаю, что в дальнейшем *А.В.Хаит* учтет эти комментарии к его текстам.

Подводя итог рассмотрению текста автореферата, скажу, что в целом, диссертационная работа «**Разработка и реализация методологических основ расчета сложных закрученных турбулентных одно- и двухфазных течений в гидро- и пневмоаппаратах на основе гипотезы Буссинеска**» является самостоятельным законченным исследованием крупной научной проблемы, результаты которого могут использоваться для совершенствования гидравлических и пневматических устройств, включая алгоритмы автоматизированного управления ими, а также для совершенствования инструментария, используемого с целью углубленного исследования рабочих процессов гидро- и пневмоаппаратов со сложными закрученными вихревыми одно- и двухфазными течениями жидкости и газа.

Обсуждаемая здесь работа соответствует паспорту специальности, удовлетворяет пунктам 1 – 5 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации 24 сентября 2013 г. №842, а её автор *Анатолий Вильич Хаит* заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.5.10 – «Гидравлические машины, вакуумная, компрессорная техника, гидро- и пневмосистемы».

главный научный сотрудник Федерального исследовательского центра информационных и вычислительных технологий, доктор физико-математических наук по специальности 05.13.16 – «Применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях», профессор

\_\_\_\_ Леонид Борисович Чубаров

**Дата:**

Фамилия, имя, отчество \_\_\_\_\_ исович,  
почтовый адрес: пр-т \_\_\_\_\_, дом 28, кв. 5, г.Новосибирск, 630090, Россия  
телефон: +7 913 900 6412,  
адрес электронной почты: [chubarovster@yandex.ru](mailto:chubarovster@yandex.ru),  
наименование организации: Государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий»,  
должность в этой организации: главный научный сотрудник,  
ученую степень: доктор физико-математических наук по специальности 05.13.16 – «Применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях»,  
ученое звание: профессор.

Я, Леонид Борисович Чубаров, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертационной работы Хаита Анатолия Вильича (соискателя).

Подпись Леонида Борисовича Чубарова \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ «Удостоверяю»:

Заместитель директора ФИЦ ИВТ по науке  
к.ф.-м.н. \_\_\_\_\_

И.Гусев

5  
С отзывом ознакомлен \_\_\_\_\_

А.В.Хаит  
026