

ОТЗЫВ

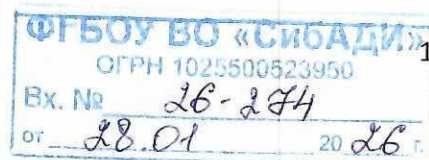
официального оппонента доктора технических наук, профессора Жарковского Александра Аркадьевича на диссертацию Хаита Анатолия Вильича «Разработка и реализация методологических основ расчета сложных закрученных турбулентных одно- и двухфазных течений в гидро- и пневмоаппаратах на основе гипотезы Буссинеска», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.10 – Гидравлические машины, вакуумная, компрессорная техника, гидро- и пневмосистемы

Актуальность диссертации обусловлена тем, что она находится в русле приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации (п.1 – Высокоэффективная и ресурсосберегающая энергетика; п. 7 – Адаптация к изменениям климата, сохранение и рациональное использование природных ресурсов), а также связана с разработкой критических технологий Российской Федерации (п. 14 – Транспортные технологии для различных сфер применения (море, земля, воздух); п. 19 – Мониторинг и прогнозирование состояния окружающей среды и изменения климата (в том числе ключевых районов Мирового океана, морей России, Арктики и Антарктики), технологии предупреждения и снижения рисков чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, негативных социально-экономических последствий; п. 20 – Экологически чистые технологии эффективной добычи и глубокой переработки стратегических и дефицитных видов полезных ископаемых).

Рабочие процессы гидравлических машин и пневматических аппаратов непосредственно связаны со сложными течениями жидкости, компьютерное моделирование которых представляет большой теоретический и практический интерес. Повышение эффективности и совершенствование машин и аппаратов требует разработки усовершенствованных математических моделей турбулентных течений жидкости. С учетом того, что в диссертации делается акцент на рабочие характеристики вихревых труб, применяемых в нефтегазодобывающей отрасли, и генераторов волн, важных в области морского строительства, исследования следует считать актуальными и важными.

Научная новизна работы:

1. Разработана совокупность математических моделей сложных турбулентных течений жидкости, позволяющая повысить точность вычисления основных характеристик вихревых труб и волногенераторов. Повышение точности достигается за счет того, что математические модели корректно отражают ряд важных физических процессов, ранее исключаемых из рассмотрения в связи с их сложностью. Данные результаты получены и опубликованы соискателем впервые.



2. Разработанные математические модели позволили выявить ранее неизвестные физические явления, проявляющиеся в вихревых трубах и волногенераторах: паразитная область течения; эффект дестабилизации течения в сопловом вводе и лопаточном аппарате; формирование сложных нестационарных вихревых течений вблизи волногенератора; влияние турбулентных течений при обрушении волн на форму волны.
3. Разработаны новые элементы вихревой трубы, повышающие ее энергоэффективность, что подтверждается промышленным внедрением результатов исследования. В диссертации приведены экспериментальные данные, подтверждающие рост изоэнтропного КПД вихревой трубы в режиме наибольшей генерации холода на 5% до величины около 41%.
4. Разработаны новые алгоритмы компьютерного управления движением поршневого волногенератора. Алгоритмы впервые учитывают нелинейные поправки 3-го порядка нелинейности и эмпирическую поправочную функцию, параметризующую влияние турбулентности вблизи волногенератора. Экспериментально установлено, что применение разработанных алгоритмов существенно сокращает отклонение фактической формы волны от требуемой. Измеренная в лабораторных условиях остаточная ошибка составляет максимум 1%.

Практическая значимость работы подтверждается успешным промышленным внедрением результатов исследования, что следует из приложенных актов внедрения: результаты исследования использовались при расчете и проектировании вихревых труб: ВТ 3-6, ВТ 5-90, ВТ 30Р, РЕСШ.4414, ВТ 0-50, ДВТР 40-9000, ВТ 63Р. Алгоритмы компьютерного управления движением поршневого волногенератора внедрены в систему лабораторной установки Университета Тель-Авива и рекомендованы для дальнейшего исследования и промышленного применения.

Практическая значимость и новизна работы также подтверждаются полученными патентами на изобретение (№ 2533590 и № 2406952) и полезную модель (№ 124367), а также государственной регистрацией программ для ЭВМ, реализующих алгоритмы управления волногенератором (№ 2025669129 и № 2025669130).

Апробация работы является достаточной. Основные результаты исследования были представлены соискателем на 4-х всероссийских научно-технических конференциях (Москва, Самара, Екатеринбург); на 8-и международных научных конференциях (Китай, Россия, Великобритания, Израиль, Испания); на 9-ти международных семинарах (Россия, Израиль, Великобритания, Индия).

Список публикаций соискателя является достаточным и включает 11 статей в журналах Q1 международных баз цитирования Scopus и Web of Science, 10 статей в журналах Q2-Q4, 11 статей из перечня ВАК. Получено 2 патента и на

изобретение, 1 патент на полезную модель, 4 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Высокая степень достоверности результатов справедливо определяется тщательной калибровкой, верификацией и валидацией математических моделей. Кроме того, достоверность полученных расчетных результатов подтверждается их согласованностью с экспериментальными измерениями, выполненными соискателем лично и заимствованными из литературы.

Оценка содержания диссертации и ее завершенности. Диссертация состоит из введения, восьми глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертации составляет 459 страниц, список литературы включает 427 наименований. К диссертации приложены три акта о внедрении результатов исследования, два патента РФ на изобретение, один патент РФ на полезную модель, два свидетельства РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Диссертация характеризуется внутренним единством и законченностью, включает содержательный материал. Все части диссертации подчиняются внутренней логике.

Во введении обоснована актуальность работы, определены цель и задачи исследования, дается представление о методах исследований, характеризуется научная новизна работы, достоверность, теоретическая ценность и практическая значимость результатов исследования, приводятся положения, выносимые на защиту, сведения об апробации работы и публикациях соискателя.

Первая глава содержит анализ информации о текущем состоянии методов расчета и математического моделирования турбулентных потоков жидкости и газа. Указываются основные достоинства и недостатки методов. Формулируется проблематика диссертационного исследования.

Вторая и третья главы посвящены формулированию математических моделей течений в вихревых трубах и поршневых волногенераторах. Отмечается, что течения в обоих аппаратах описываются одними и теми же фундаментальными уравнениями сохранения массы, момента движения и энергии. Далее, с учетом особенностей отдельных аппаратов, для каждого случая возможны допущения, упрощающие задачу и ускоряющие численное интегрирование уравнений.

На основании литературного обзора показаны недостатки имеющихся математических моделей и методов. Для исправления недостатков внесены изменения в уравнения моделей, которые учитывают дополнительные физические процессы, ранее отбрасываемые при расчетах. Так, в диссертации впервые вводится турбулентный тепловой поток в вихревой трубе, непосредственно связанный со сжимаемостью газа; разрабатывается модель турбулентной вязкости на базе кинематического критерия обрушения волн.

Четвертая и пятая главы диссертации посвящены численному и экспериментальному исследованию рабочих процессов вихревых труб. На начальном этапе осуществляется калибровка разработанной математической модели течения газа, ее верификация и валидация. Далее применяя математическую модель разрабатываются усовершенствования вихревой трубы и ее элементов для увеличения эффективности охлаждения газа, характеризуемой величиной изоэнтропного и холодильного КПД. В частности, разработан новый тип соплового ввода, спрямляющий аппарат холодного потока, диффузор горячего потока. Приведенные результаты экспериментальных исследований и промышленного внедрения разработок демонстрируют заметное повышение КПД вихревой трубы. Это показывает верность полученных результатов исследования.

Шестая, седьмая и восьмая главы диссертации посвящены численному и экспериментальному исследованию рабочих процессов поршневых генераторов волн. Используя численную модель из второй и третьей главы диссертации, выполнено комбинированное численное и экспериментальное исследование для калибровки модели турбулентной вязкости для обрушивающихся волн. Исследованы кинематические параметры волн, поля скоростей под обрушивающимися волнами, процессы диссипации энергии в модели турбулентной вязкости, а также сопутствующие физические процессы. Экспериментально подтверждена высокая точность разработанной математической модели работы волногенератора.

Используя уравнения Захарова и Шредингера получен оригинальный алгоритм перемещения щита волногенератора для высокоточного воспроизведения течения жидкости в гидроволновом лотке и соответствующего поля волн. Новизна метода заключается, прежде всего, в учете нелинейностей третьего порядка, что было осуществлено, фактически, впервые. Обнаруженные вихревые течения вблизи волногенератора указали на необходимость эмпирической корректировки алгоритма на базе уравнений Захарова и Шредингера. Для этого соискатель ввел эмпирическую функцию β , а затем нашел ее численные значения, используя разработанные модели течения жидкости.

Представлены результаты численных и экспериментальных исследований точности алгоритмов перемещения щита волногенератора. Экспериментально подтверждено существенное повышение точности воспроизведения течения и поля волн в гидроволновом лотке при помощи волногенератора.

В заключении диссертации представлены общие результаты и выводы, сделанные на основании проведенных исследований.

Аннотация диссертации полностью отражает ее содержание.

Замечания

1. В работе много внимания уделено положительным свойствам разработанных математических моделей течения жидкости и газа. Таким как повышенная точность, верное описание физических процессов и др. Однако при этом мало внимания уделено потенциальным ограничениям математических моделей. Какова область применения теоретических разработок?
2. В разделах 2.3 и 2.4 диссертации потоки энергии q , в том числе поток кинетической энергии, указаны как «тепловые потоки». Это неверно.
3. С учетом существования вихревых течений, обнаруженных вблизи генератора волн и показанных на рис. 8.4, считаю теоретические разработки 7-ой главы чересчур упрощенными. Каким образом соискатель мотивирует необходимость таких исследований не понятно.
4. Соискатель утверждает, что учет дополнительных поправок 3-го и более высоких порядков нелинейности в задаче о работе генератора волн имеет большое значение. Однако не понятно какую роль играют поправки 2-го порядка нелинейности. В тексте самой диссертации отмечается существование линейных методов применительно к генератору волн. С учетом того, что эмпирические поправки требуются в любом случае, более логичным шагом является использование простейших линейных методов в качестве основы вместо более сложных нелинейных методов.
5. Раздел 5.2. посвящен параметрическому исследованию с применением как численных, так и экспериментальных подходов. Очевидным и логичным шагом следует считать проведение многокритериального нелинейного оптимизационного исследования.
6. Часть уравнений в диссертации и автореферате записаны в тензорной форме. При этом, векторные, тензорные и скалярные величины записаны одним и тем же шрифтом и, в связи с этим, неотличимы друг от друга.

Заключение

Указанные замечания не умаляют научную значимость и высокую ценность диссертационного исследования Хаита Анатолия Вильича. Диссертация, представленная на соискание ученой степени доктора технических наук, является завершенной научно-квалификационной работой, обладающей внутренним единством. В диссертации решена научная проблема совершенствования рабочих характеристик гидропневмоаппаратов и методов их моделирования, имеющая важное хозяйственное значение для развития страны. В диссертации приведены убедительные сведения о практической ценности результатов исследования.

Диссертация Хаита А.В. «Разработка и реализация методологических основ расчета сложных закрученных турбулентных одно- и двухфазных течений в гидро- и пневмоаппаратах на основе гипотезы Буссинеска» безусловно

удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК РФ к докторским диссертациям, в том числе соответствует пп. 9-14 Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842 (в действующей редакции) «О порядке присуждения ученых степеней». Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные положения и сведения о промышленном внедрении результатов исследований. Количество и качество публикаций соискателя, в которых изложены основные научные результаты и выводы, в полной мере соответствуют критериям, предъявляемым ВАК РФ к докторским диссертациям.

На основании указанного, соискатель Хаит Анатолий Вильич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.10 – Гидравлические машины, вакуумная, компрессорная техника, гидро- и пневмосистемы.

Официальный оппонент, Жарковский Александр Аркадьевич, доктор технических наук по специальности 05.04.13 «Гидравлические машины, гидропневмоагрегаты, гидроприводы, гидроэнергетика, гидроэнергетическое машиностроение, гидроэнергетическое оборудование, гидроэнергетическое образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»
Телефон: +7 (911) 300-11-11
E-mail: azharkovs@yandex.ru

г. Санкт-Петербург, район Академический, дом 1

«20» 01 2026 г.
Федеральное государственное
высшее образовательное учреждение
«Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого»
195251, г. Санкт-Петербург,
ул. Политехническая, д. 29

Санкт-Петербургское государственное
техническое учреждение
«Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого»
округ Академическое,

Я, Жарковский Александр Аркадьевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Хаита Анатолия Вильича.

С отзывом

28.01.2026

А.В.

