

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, диссертация Анатолия Вильича Хаита посвящена актуальным прикладным расчетам закрученных течений в гидро- и пневмо- системах, в частности, течений в вихревой трубе (воздух) и в пневматическом волнопродукторе (вода).

В своём отзыве я буду обсуждать только часть работы, связанную с вихревой трубой, поскольку именно это устройство связано с моей профессиональной деятельностью. Речь пойдёт об эффекте Ранка, который состоит в том, что в устройстве, называемом трубкой Ранка или вихревой трубой, поток сжатого газа, закрученный на входе, расширяясь под действием только перепада давления, выходит из устройства через два выхода, один из которых – холодный, а другой – горячий. Температура торможения в этих выходах соответственно ниже и выше температуры торможения на входе.

После открытия эффекта, первых экспериментальных работ и успешной эмпирической оптимизации устройства на протяжении нескольких десятилетий, появились многочисленные и разнообразные применения вихревых труб, притом что природа эффекта по сей день не имеет безусловного общепризнанного объяснения.

Загадке разделения температур в трубке Ранка уже скоро сто лет, количество опубликованных научных и прикладных исследований исчисляется сотнями, обобщающие обзоры обновляются примерно раз в пять лет, и "красивые" гипотезы, объясняющие эффект, сменяются примерно с такой же периодичностью, хотя всегда признавалось, что для объяснения физической природы эффекта не хватало детальной экспериментальной картины течения в вихревой трубе. Но, поскольку практические вопросы часто требовали быстрого решения, в прикладных целях каждый раз принимались популярные на тот момент умозрительные гипотезы.

26-632
13.02 26

Одна из таких популярных гипотез состояла в том, что эффект Ранка связан с турбулентным взаимодействием периферийного и приосевого потоков, которую принял и Анатолий Вильич. В последнее время в публикациях были широко представлены вычислительные работы, основанные на развитии моделей турбулентности в закрученном потоке, а для обобщения весьма разрозненных экспериментальных данных уже пробуют привлекать искусственный интеллект. Благо, модели турбулентности дают довольно широкую возможность вариации, что позволяет верифицировать расчеты в конкретных устройствах. При этом нельзя не признать, что в отдельных случаях такие расчеты, верифицированные по температурному разделению, помогали в решении прикладных задач.

Надо заметить, что Анатолий Вильич был в числе первых, кто попытался рассчитать эффект разделения температур на основе моделей турбулентности. Его пионерские работы (с соавторами) относятся к периоду 2010 – 2013 гг. И, надо отдать ему должное, он сразу совершенно честно признал, что расчет по известным на то время моделям турбулентности в разы занижил эффект разделения температур по сравнению с экспериментом. В последующие годы специалисты по моделированию турбулентности верифицировали результаты адаптации моделей турбулентности по конечному результату (разделение температур). Верификации внутри трубы Ранка не было из-за отсутствия детальной экспериментальной картины течения.

На сегодняшний день Анатолий Вильич является признанным специалистом по адаптации моделей турбулентности для расчетов закрученного течения. Особенно стоит отметить его работы, связанные с экспериментальной проверкой результатов адаптации модели турбулентности к конкретным устройствам и получением в этой связке хороших прикладных результатов для оптимизации вихревой трубы. Однако, уже в начале двадцатых годов он переключился на другие задачи (например, волнопродуктор, описанный в рассматриваемой работе).

К сожалению, новые экспериментальные результаты по вихревой трубе, опубликованные после этого времени им не были замечены (Это - **Замечание**). Здесь я пишу о полученных в период 2020 – 2025 гг. группой исследователей Института теплофизики СО РАН методом лазер-доплеровской анемометрии подробных данных по полю скоростей в специально изготовленной для оптических исследований вихревой трубе. Эти данные анализировались в публикациях группы и докладывались на конференциях и академических семинарах. Анализ показал неизвестные ранее факты, в частности, имеющее место дозвуковое запираание потока на входе в вихревую трубу. С ростом степени расширения потока достигается пороговое значение этой величины, такое,

что повышение степени расширения сверх порогового значения **не приводит** к увеличению скорости на входе в устройство. Тем самым стабилизируются (не меняются с повышением давления) такие величины, как входная скорость (существенно **дозвуковая**), объёмный расход воздуха и внутренняя структура потока. Массовый расход воздуха, конечно, растёт – пропорционально степени расширения. Стабилизируется также адиабатический КПД трубы.

Анализ полученных результатов привёл к доказательству того, что в вихревой трубе, также как в ограниченном закрученном потоке в длинной открытой трубе, имеет место "кризис течения". Суть в том, что сильно закрученный поток течёт в разомкнутом узком пристеночном вихре, обтекая так называемую циркуляционную область, если течение является затопленным. Радиус границы пристеночного вихря определяется геометрией устройства. А кризис течения проявляется в том, что расходная скорость в пристеночном вихре не может **непрерывно** перейти через значение скорости длинных волн на его поверхности. Превышение этой скорости в стационарном течении приводит к замедлению потока, а если скорость потока становится меньше критической, то стационарный поток ускоряется в направлении движения.

Экспериментально было установлено, что в трубке Ранка имеет место кризис течения, который, вероятно, приводит к серии гидравлических прыжков, ограничивающих увеличение скорости потока выше критического значения. Этим объясняется явление запираания. Кроме того, адиабатический гидравлический прыжок в газе (в отличие от жидкости) приводит при замедлении потока к локальному нагреванию его в области прыжка (т.е. на периферии, в области пристеночного вихря). Таким образом кинетическая энергия локально переходит в тепло, которое выносится периферийным потоком в "горячий" выход.

Это краткое изложение результатов, казалось бы, не имеющих отношения к обсуждаемой работе, сделано с корыстной целью привлечь Анатолия Вильича Хаита к совместной работе с авторами публикаций группы (*см. для примера ссылки [1- 3], ниже*). Продемонстрированные им квалификация и умение связывать математические модели с натурным экспериментом были бы очень полезны для расчетов вихревой трубы с известной из эксперимента структурой потока. К таким расчетам ещё никто в мире не приступал: Важно научиться учитывать явление кризиса и выделение энергии в гидравлическом прыжке. Важно еще и то, что предполагаемые явления в вихревой трубе весьма схожи с явлением опрокидывания волн в волнопродукторе, которые успешно анализируются в обсуждаемой диссертации. Только в жидкости мы в результате

опрокидывания получаем турбулентную энергию, а в газе при адиабатическом замедлении потока получается локальное выделение тепла.

Ссылки:

1) ПМТФ, 2020, Т.61№1); 2) ПМТФ, 2020, Т.61№3 ; 3) *Journal of Engineering Thermophysics, 2024, Vol. 33, No. 3, pp. 478–484.*

Подводя итог рассмотрения текста автореферата, можно заключить, 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», автореферат которой здесь обсуждается, является самостоятельным законченным исследованием крупной научной проблемы, результаты которого могут использоваться для создания гидравлических машин, гидро- и пневмосистем. Эта работа соответствует паспорту специальности, автореферат удовлетворяет пунктам 9 и 10 «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».

Я, Правдина Маргарита Хаймовна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертационной работы Хаита Анатолия Вильича.

Старший научный сотрудник Федерального государственного учреждения науки Институт Теплофизики им. С.С. Кутателадзе, Сибирского отделения Российской академии наук;

Кандидат физико-математических наук по специальности 01 04.14 – «Теплофизика», старший научный сотрудник.

Маргарита Хаймовна Правдина

26.01.2026г.

Подпись Маргариты Хаймовны

Ученый секретарь ИТ СОРАН.

к.ф.-м.н.

Контактная информация:

Адрес: 630090, г. Новосибирск

E-mail: model@itp.nsc.

А.А. Ягодницына

Ягодницына, I

*С отзывом от
13.02.2026*

Хаит