

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на диссертационную работу Сулова Даниила Андреевича «Управление характеристиками прецессирующих вихрей в проточной части модели гидротурбины», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности «1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы»

Гидроэлектростанции являются, по всей видимости, единственным надежным возобновляемым генератором с большой выходной мощностью, который может оперативно подстраиваться под уровень потребления электроэнергии. В процессе регулирования мощности гидротурбина часто меняет режимы своей работы, в том числе эксплуатируется в неоптимальных или нерасчетных для неё условиях. В таких режимах, поток за рабочим колесом турбины Френсиса, имеет большую остаточную закрутку и чрезвычайно восприимчив к возмущениям. Возникают различные когерентные вихревые явления, такие как дорожка Кармана, распад вихря, эффект перезамыкания вихревого ядра и т. п. Они же приводят к неблагоприятным явлениям, снижающим эксплуатационные характеристики гидротурбины. К таким эффектам относятся мощные пульсации давления, повышенный шум гидроагрегата, вращающийся срыв, кавитационная эрозия лопаток, усталостные изменения металла и т. д. Наиболее опасным вихревым явлением является прецессирующее вихревое ядро (ПВЯ) или «вихревой жгут», возникающий в условиях частичной или форсированной нагрузки гидротурбины. ПВЯ генерирует мощные пульсации давления в проточной части гидротурбины, которые передаются всему столбу воды. Такие режимы являются одним из существенных ограничений расширения диапазона устойчивой работы гидротурбины. Соответственно, мотивацией цикла исследований, выполненных Суловым Д.А., послужила актуальная задача по расширению режимов устойчивой и безопасной работы гидротурбин путем управления ПВЯ. Использование управления позволит расширить диапазон устойчивой и безопасной работы гидротурбины за счёт подавления эффекта ПВЯ оптимальным методом.

Диссертационная работа Сулова Д.А. посвящена установлению физических закономерностей воздействия активного управления на прецессирующее вихревое ядро в закрученном потоке за рабочим колесом модельной гидротурбины Френсиса и разработке на их основе эффективного метода подавления пульсаций давления. Существующие решения по управлению параметрами ПВЯ в гидротурбинах обладают рядом недостатков, а именно, сопровождаются заметной потерей эффективности турбины и высокими расходами воды через управляющие системы или работают в узком режимном диапазоне. Причина этого в том, что методы управления применительно к гидротурбинам основывались главным образом на интуитивных подходах с использованием метода проб и ошибок. Методы управления были направлены на последствия, а не на причину возникающих пульсаций давления. Поэтому эффективный способ управления ПВЯ должен основываться на обоснованной теоретической базе, которая достоверно описывает механизмы эволюции эффекта ПВЯ.

Ключевой результат диссертационной работы Суслова Д.А. заключается в том, что впервые с опорой на формализм линейного анализа устойчивости, совместно с проведенными экспериментами предложен и обоснован с физической точки зрения низкорасходный оптимальный способ подачи и расход струи для наиболее эффективного подавления опасных вихревых структур. Также важно отметить, что Сусловым Д.А. было показано, что, наряду с долей инжектируемого расхода от общего расхода потока, ключевой характеристикой эффективности воздействия управления на ПВЯ является безразмерный коэффициент потока импульса. Помимо этого, был выявлен ряд закономерностей воздействия инъекции на параметры ПВЯ и потока в закрученном течении за рабочим колесом модельной гидротурбины Френсиса. Достоверность результатов, полученных Сусловым Д.А. подтверждается проведенной им оценкой погрешностей измерений, повторяемостью опытов при идентичных начальных условиях, а также использованием высокоточного оборудования, позволяющего реализовать бесконтактные измерения. Проведено сопоставление результатов с работами других научных групп, которое показало, что предлагаемый Сусловым Д.А. радиальный способ инъекции управляющего расхода эффективнее снижает пульсации давления от ПВЯ, чем представленные другими группами традиционные способы осевой инъекции вдоль потока за рабочим колесом. Работа выполнена на высоком научном уровне, включает подробный обзор литературы, описание экспериментального стенда и используемых современных методик, полученные экспериментальные результаты, их обработку и анализ. Выполненная работа имеет и прикладное значение, что подтверждается полученным соискателем патентом на изобретение «Способ подавления пульсаций давления в гидротурбине», иными РИД.

Суслов Даниил Андреевич, 1997 г.р., начал заниматься научной деятельностью в 2018 г., на третьем курсе обучения в НГУ. Дипломы бакалавра и магистра физического факультета НГУ – оба с отличием. В 2021 году был принят на обучение в аспирантуру ИТ СО РАН, которую успешно заканчивает в 2026 году. В настоящее время является младшим научным сотрудником, а также является преподавателем кафедры физики в СУНЦ НГУ. Имеет свыше 30 публикаций, из них 19 публикаций по теме диссертации. Из данных 19 публикаций, 4 статьи опубликованы в журналах первого уровня «Белого списка» РЦНИ, и 6 статей в журналах второго уровня «Белого списка» РЦНИ. Также 6 публикаций относятся к рецензируемым журналам первого квартиля международной реферативной базы «Scopus», в том числе, две статьи в журнале «Physics of Fluids» (импакт-фактор WoS = 4,1). Результаты работы представлялись на большом количестве всероссийских и международных конференций, несколько докладов были отмечены дипломами. Суслов Д.А. принимает активное участие в выполнении ряда проектов (РФФИ, РНФ, Мегагрант и др.). Его активная работа отмечена дипломами и премиями: стипендия Президента РФ для аспирантов, проводящих научные исследования в рамках реализации приоритетов научно-технологического развития РФ, стипендия Правительства НСО (дважды), премия мэрии Новосибирска и т.д. Он является соавтором шести РИД.

Результаты, вошедшие в диссертацию, получены Суловым Д.А. в рамках работы по молодежному проекту ИТ СО РАН (руководитель – Сулов Д.А.), РФФИ 20-58-12012 «Разработка активных методов управления гидродинамическими неустойчивостями в отсасывающей трубе гидротурбины Френсиса с помощью линейного анализа устойчивости» (руководитель академик РАН Алексеенко С.В.), РФФИ 21-19-00769 «Крупномасштабные нестационарные вихревые структуры в энергетическом оборудовании» (руководитель д.ф.-м.н. Шторк С.И.), РФФИ 25-79-30002 «Развитие энергетических технологий в условиях изменения климата» (руководитель академик РАН Алексеенко С.В.).

Суловым Д. А. продемонстрированы навыки проведения научных исследований, обоснованных аргументированными выводами и рекомендациями, соискатель проявил самостоятельность, ответственность, большой интерес к исследовательской работе и непосредственно участвовал в проектировании и модернизации экспериментальных стендов, разработке системы управления потоком в модельной гидротурбине, проведении экспериментов, обработке и анализе данных. Суловым Д.А. освоены современные методики диагностики жидкостей и газов, а именно, анемометрия по изображениям частиц (PIV), лазерная доплеровская анемометрия, акустические датчики. **Считаю, что представленная диссертация является законченным научным исследованием, свидетельствующим о высокой квалификации соискателя в области механики жидкости и газа. Научная квалификация Сулова Д.А. и полученные в работе результаты, безусловно, позволяют мне утверждать, что Сулов Даниил Андреевич отвечает всем требованиям, предъявляемым к соискателю степени кандидата наук и заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности «1.1.9 Механика жидкости, газа и плазмы».**

Научный руководитель:

заведующий научно-исследовательской лабораторией проблем теплопереноса ИТ СО РАН,
доктор физико-математических наук

Подпись Шторка Сергея Ивановича удостоверяю
ученый секретарь ИТ СО РАН,
кандидат физико-математических наук



Шторк
Шторк Сергей Иванович
12.02.2026 г.

Ягодницына
Ягодницына Анна Александровна

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе
Сибирского отделения Российской академии наук
Россия, 630090, г. Новосибирск,
проспект Академика Лаврентьева, д. 1
тел. +7 (383) 333-10-94, e-mail: sergei_stork@mail.ru
<http://www.itp.nsc.ru/>