

## О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию Ялозо Андрея Владимировича  
«Методы одномерного, трехмерного и гибридного моделирования гидродинамических течений в инженерных гидросистемах летательных аппаратов», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Диссертационная работа посвящена разработке и использованию программного обеспечения для прогнозирования характеристик инженерных гидросистем в приложении к летательным аппаратам на основе одно- и трехмерного моделирования. Разработанные подпрограммы внедрены в пакет ЛОГОС. Тема диссертации имеет отношение к приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в РФ (3. Информационно-телекоммуникационные системы). В работе разрабатываются критические технологии РФ (18 Технологии и программное обеспечение распределенных и высокопроизводительных вычислительных систем). Таким образом, представленную диссертацию можно признать актуальной.

Научная новизна работы состоит в следующем.

1. Разработана методика гибридного 1D-3D моделирования гидродинамических течений, основанная на итерационной процедуре обмена общими граничными условиями между разномасштабными областями с учетом восстановления картины развитого течения в трехмерной области.
2. Предложен и реализован алгоритм каскадного сбора глобального уровня многосеточного решателя СЛАУ, позволяющий ускорить трехмерное моделирование гидродинамических течений в высокопараллельном режиме.
3. Предложены полуэмпирические математические модели гидравлических элементов, составляющих топливные системы маневренных самолетов.

Практическая значимость обосновывается в следующих двух пунктах.

1. Разработанный программный комплекс FlowDesigner для моделирования инженерных гидросистем введен в опытную эксплуатацию в ПАО Компания Сухой ОКБ Сухого., что подтверждено актом № 1/04/01/4 от 12.04.2019 г. В частности, с помощью данного программного комплекса были проведены расчетные исследования как отдельных подсистем, так и полномасштабных моделей топливных систем объектов СУ-57 и Охотник-Б на различных режимах полета.
2. Разработанный многосеточный метод решения СЛАУ с использованием алгоритма каскадного сбора глобального уровня предназначен для ускорения трехмерного моделирования процессов гидродинамики. Автором диссертации данный метод был реализован в пакете программ ЛОГОС – отечественном программном обеспечении для инженерного анализа.

Апробация работы хороша. В соавторстве опубликованы статьи в высококачественных отечественных журналах «Журнал вычислительной математики и математической физики» (2016. Т. 56, № 8. С. 1524-1535 и 2017. Т. 57, № 12. С. 2079-2097) и Математическое моделирование (2018. Т. 30, № 10. С. 123-138 и 2019. Т. 31, №12. С. 3-20). Особо следует отметить статью в журнале первого квартала Acta Astronautica (2017. Vol. 135. P. 198-207).

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

Вх. № \_\_\_\_\_  
« 08 » 06 20 20

Вышли статьи в журнале Полет и в трудах университета им.Р.Е.Алексеева. Ялозо А.В. является соавтором 11 докладов на Всероссийских и международных конференциях по профилю специальности. Он соавтор шести зарегистрированных программ.

Структура диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения, перечня литературных источников и двух приложений. Краткое введение повествует об объекте исследования, об его актуальности, о целях и структуре работы. Первая глава содержит описание гибридной методологии расчета инженерных гидравлических систем. Во второй главе представляется ускорение решения трехмерных задач на основе многосеточных технологий. Третья глава посвящена программному комплексу FlowDesigner. В четвертой главе демонстрируется внедрение комплекса в ПО расчета инженерных гидросистем самолетов. В заключении приводится перечень выводов. В списке литературных источников имеется 106 наименований. Два приложения завершают материал диссертации на 153 страницах.

Работа довольно типична для диссертаций по специальности 05.13.18. Методическая часть, которая сопровождается тестированием, могла быть более подробной и детальной. Содержательные части не содержат развернутых исследований. Общее впечатление от диссертации Ялозо А.В. в целом положительное, хотя к работе есть претензии.

Несколько слов о концептуальной обоснованности работы и о ее месте в спектре работ данного профиля.

Разработка, верификация и применению гибридного метода для совместного решения многомерных и сетевых (одномерных) задач гидродинамики и теплообмена выполнена в диссертации Филимонова С.А. “Гибридный метод для совместного решения многомерных и сетевых задач гидродинамики и теплообмена”, защищенной в 2019 году в Новосибирске по специальности 05.13.18. Тематика злободневная, поскольку объединяет пакетные технологии на примере SigmaFlow для решения локальных задач с традиционными сетевыми методами малой размерности. В результате разработан программный модуль NetFlow, который инкорпорирован в SigmaFlow. Проведена верификация пакет и решен ряд интересных инженерных задач. Работа выполнена в научной школе СФУ под руководством Дектерева А.А. и хорошо распечатана. Замечания оппонента к работе Филимонова С.А. имеют прямое отношение к настоящей работе Ялозо А.В. Поэтому позволю их здесь процитировать.

1. Ядром гибридного подхода является обобщенный метод коррекции давления. Почему-то при разработке этого метода не используется и не упоминается метод аддитивной коррекции, известный метод понижения размерности и ускорения сходимости при решении уравнения поправки давления. Почему?

2. Замечательная идея соединения задач разной размерности имеет тонкое место – их стыковку. Для ламинарных течений вроде бы есть относительная ясность в осуществлении этой цели, тем более, что в центре внимания находится сохранение расхода. А как быть с турбулентностью, непонятно. Хотелось бы видеть в работе обсуждение этой проблемы.



3. Вычислительная эффективность гибридного метода оценивается его сравнением с пространственным моделированием (в рамках пакета SigmaFlow) и 10кратный выигрыш не выглядит чрезмерно большим. Напротив, он мог быть на порядки выше при оценочном подходе. Представляется, что гораздо важнее для гибридного метода уточнение решения мультиразмерной задачи. Возможно, было бы оправданно сравнение гибридного и чисто сетевого инженерного метода на выбранной конкретной задаче.

В целом, смешение моделей различной размерности представляет интерес, несмотря на поразительный рост вычислительных ресурсов. Это свидетельствует о перспективности научных исследований, начатых в диссертации Ялозо А.В.

Сделанные дальнейшие замечания призваны расширить область дискуссии и придать импульс дальнейшим разработкам.

**1. Бэкграунд диссертации с критическим анализом расчетно-экспериментальных работ предшественников слабоват и вышеприведенная информация о довольно свежей работе Филимонова С.А. тому подтверждение.**

**2. Оппонент не нашел в работе анализа турбулентных течений и течений с кавитацией. В первой главе он отсутствует и методика расчета оказывается неполной. Также нет сравнения с аналогами, в том числе с FlowVision и Sigma-Flow?**

**3. Насколько представленная методология соответствует мировому уровню? Хотелось бы более рельефно продемонстрировать вычислительную эффективность.**

**4. Тестовые задачи продекларированы, но их оригинальность не подчеркнута. Собственно говоря, турбулентное течение в трубе и за обращенным назад уступом хорошо известны как тесты. Однако хотелось бы видеть трехмерные задачи с нестационарными пространственными потоками.**

**5. Какие выдающиеся НАУЧНЫЕ результаты получены на основе разработанного программного обеспечения? Не все задачи, рассмотренные в третьей главе, представлены со сравнениями с экспериментальными данными.**

**6. Четвертая глава посвящена внедрению ПО в процесс конструирования систем самолета. Однако хотелось бы видеть валидацию ПО, а также понять, может ли ПО оптимизировать рассматриваемую гидравлическую систему.**


**7. Еще одно замечание по перечню литературных источников. Нарушено правило: нет ссылок на работы оппонентов. Собственно говоря, это продолжение претензий по недостаточному сравнению с известными расчетными методами и пакетами. Так, оппонент не нашел ссылку на свою монографию Исаев С.А., Баранов П.А., Усачов А.Е. Многоблочные вычислительные технологии в пакете VP2/3 по аэротермодинамике. Саарбрюкен: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2013. 316с.**

Аннотация достаточно полно отражает содержание диссертации.

Таким образом, представленная диссертационная работа является законченным научным исследованием по разработке и использованию гибридной мультиразмерной методологии расчета

инженерных гидросистем самолетов. Выполненная работа удовлетворяет квалификационным требованиям, предъявляемым ВАК России к кандидатским диссертациям, в том числе соответствует требованиям п.9 “Положения о присуждении ученых степеней”, а ее автор Ялозо А.В. заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Заведующий лабораторией фундаментальных исследований Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации,  
 доктор физико-математических наук по специальности 01.02.05 механика жидкости, газа и плазмы,  
 профессор

 Исаев Сергей Александрович

23 марта 2020 года

[isaev3612@yandex.ru](mailto:isaev3612@yandex.ru) 196210, СПб, Пилотов, 38, [info@spbguga.ru](mailto:info@spbguga.ru), 7041818

Подпись профессора Исаева С.А. заверяю

Проректор по персоналу-  
 Начальник УК

