

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата физико-математических наук, Аксенова Андрея
Александровича

на диссертационную работу Ялозо Андрея Владимировича
«Методы одномерного, трехмерного и гибридного моделирования
гидродинамических течений в инженерных гидросистемах
летательных аппаратов», представленную к защите на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 05.13.18 — «Математическое моделирование, численные
методы и комплексы программ».

Актуальность темы диссертационного исследования

Моделирование сложных систем, состоящих из большого числа элементов в настоящее время является актуальной задачей, позволяющей проектировать новые изделия в сжатые сроки. Современные программные комплексы позволяют проводить моделирование систем в трехмерном случае, однако данный подход ограничен имеющимися в наличии компьютерными ресурсами и самым главным ресурсом – временем расчета. Поэтому декомпозиция сложной системы на различные объекты, которые можно моделировать в более простой постановке является современным трендом развития систем автоматизации инженерных расчетов.

Диссертация Ялозо Андрея Владимировича посвящена моделированию класса инженерных гидравлических и гидротехнических систем. Таких систем вокруг нас огромное количество – это гидравлика, трубопроводы ракет, самолетов, судов, гидротехнические инженерные системы жилых домов, системы вентиляции и кондиционирования шахт, жилых зданий и сооружений, салонов автомобилей и самолетов. Не всегда сложную гидравлическую систему можно разбить на сеть труб и локальных сопротивлений. Во-первых, не всегда известны локальные сопротивления сочленений труб и гидротехнических приборов и часто требуется моделирование объема, заполненного рабочей жидкостью/газа. Например, расчет ракетного двигателя зачастую требует трехмерного расчета камеры сгорания и подводящих труб, которых вполне можно моделировать как одномерные объекты. Другой пример – моделирование системы вентиляции шахты, когда требуется моделирование системы воздухопроводов и одновременное вытеснение шахтных газов чистым воздухом. Таким образом, программные комплексы,

реализующие совместное моделирование 1D и 3D течений являются востребованными и необходимым элементом разработки сложных гидравлических систем.

Решение перечисленных проблем составляет основу диссертационного исследования Ялозо А.В., которое, без всякого сомнения, **является актуальным**. Целью работы является разработка математических методов, алгоритмов и программного комплекса для одномерного и гибридного моделирования гидродинамических течений в инженерных гидросистемах, а также верификация и внедрение разработанного программного обеспечения для решения промышленно-ориентированных задач авиастроения.

Основные научные результаты

В процессе исследований, проведенных в рамках работы над диссертацией, Ялозо А.В. получил ряд новых научных результатов:

- Разработан метод совместного 1D-3D моделирования гидродинамических течений, основанный на итерационной процедуре обмена общими граничными условиями между разномасштабными областями с учетом восстановления картины развитого течения в трехмерной области.

- Впервые предложен и реализован алгоритм «каскадного сбора глобального уровня» многосеточного решателя СЛАУ, позволяющий ускорить трехмерное моделирование гидродинамических течений при высокой масштабируемости метода.

- Разработаны полуэмпирические математические модели гидравлических элементов, входящих в состав топливной системы самолета.

- Разработаны задачи верификации метода и приведены результаты верификации разработанных методов и алгоритмов.

-

Степень обоснованности и достоверности научных положений и

ВЫВОДОВ

Обоснованность полученных результатов диссертационной работы подтверждается корректным использованием аппарата вычислительной гидродинамики и математических моделей, основанных на законах

сохранения массы, импульса и энергии в потоке жидкости или газа. Проведенная верификация алгоритмов и программ, разработанных автором диссертации, путем сравнения результатов расчетов с аналитическими решениями и данными других авторов, позволяет сказать о достоверности результатов, полученных в диссертации.

Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы

Полученные теоретические и практические результаты диссертации могут применяться для моделирования различных гидродинамических течений в сложных инженерных гидросистемах. В диссертации указано, что разработанный автором диссертации программный комплекс уже применяется в ПАО «Компания «Сухой» «ОКБ Сухого». В этой организации были успешно проведены расчеты как отдельных подсистем, так и полномасштабных моделей топливных систем объектов СУ-57 и Охотник-Б на различных режимах полета. Кроме того, результаты, полученные в диссертации, использовались в восьми российских промышленных и исследовательских проектах. Перечисленные факты, безусловно, подчеркивают высокую практическую значимость диссертационной работы.

Содержание работы

Диссертация Ялозо А.В. состоит из введения, четырех глав, заключения, списка используемой литературы, включающего 106 наименований, и двух приложений. Основное содержание диссертации изложено на 153 страницах, включая 82 иллюстрации и 11 таблиц.

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, приводится краткий обзор литературы по данному направлению, ставятся цели и определяются задачи исследования, научная новизна, обосновывается достоверность получаемых результатов, указывается теоретическая ценность и практическая значимость работы, приводятся сведения об апробации результатов исследования и личный вклад автора.

Первая глава посвящена методике совместного 1D-3D моделирования гидродинамических течений в инженерных гидросистемах. В параграфе 1.1

представлен метод одномерного моделирования гидродинамических течений в инженерных гидросистемах. Основная идея предлагаемого метода состоит в представлении гидросистемы в виде связанного графа элементов. Каждый элемент описывается независимым набором законов сохранения, задаются его эмпирические характеристики (например, гидродинамическое сопротивление). Далее в параграфе описаны математические модели основных типов конструктивных элементов, составляющих гидросистемы. Также в параграфе представлен пример расчета простейшей гидросистемы. В параграфе 1.2 представлено краткое описание метода моделирования трехмерных течений в задачах гидродинамики с использованием алгоритма SIMPLE. Описанный в данной главе алгоритм SIMPLE лежит в основе модуля расчета гидродинамических течений отечественного пакета программ инженерного анализа ЛОГОС (ПП ЛОГОС), одним из основных разработчиков которого является диссертант. В параграфе 1.3 изложен предложенный диссертантом метод и алгоритм расчета гибридных 1D-3D моделей с учетом восстановления картины развитого течения в трехмерной области.

Вторая глава посвящена вопросу ускорения расчетов в трехмерной постановке с использованием многосеточных технологий. В параграфе 2.1 представлен краткий обзор применения многосеточных технологий для повышения эффективности вычислительного алгоритма моделирования трехмерных областей. Параграф 2.2 посвящен особенностям параллельной реализации многосеточного метода на произвольных неструктурированных сетках при использовании ЭВМ с распределенной памятью. В параграфе 2.3 описан алгоритм «каскадного сбора глобального уровня», предложенный диссертантом для решения проблемы построения грубых уровней и ускорения многосеточного метода на вычислительных системах с распределенной памяти. Суть данного алгоритма заключается в параллельной работе уменьшающегося числа процессов при построении иерархии различных уровней многосеточным методом. В параграфе 2.4 приведены результаты верификации и исследования эффективности многосеточного метода с использованием алгоритма «каскадного сбора глобального уровня», реализованного диссертантом в рамках ПП ЛОГОС на серии численных экспериментов. По полученным результатам можно сделать вывод, что

алгоритм каскадного сбора позволяет значительно ускорить общее время решения задачи, и основное его преимущество начинает проявляться с увеличением используемого процессорного поля до сотен и тысяч процессоров.

Третья глава посвящена описанию разработанного программного комплекса «FlowDesigner», основанного на методике, представленной в первой главе, и предназначенного для моделирования гидродинамических течений в инженерных гидросистемах с возможностью расчета гибридных моделей совместно с ПП ЛОГОС. Диссертант является основным разработчиком данного программного комплекса. В параграфе 3.1 описан основной функционал и элементы графического интерфейса разработанного программного комплекса. Параграф 3.2 посвящен особенностям программной реализации «FlowDesigner». Также в данном параграфе описан подход к моделированию логических управляющих подсистем, позволяющий совместно моделировать гидравлические и логические части гидросистем. В параграфе 3.3 представлены результаты верификации программного комплекса «FlowDesigner» на примере типичных задач, возникающих при моделировании инженерных гидросистем.

В четвертой главе представлены результаты расчетов нескольких промышленных задач моделирования работы топливных и гидравлических систем самолетов с помощью разработанного программного обеспечения. В параграфе 4.1 приводится общее описание топливной системы самолета и составляющих ее подсистем. Параграф 4.2 содержит серию численных экспериментов моделирования отдельных подсистем топливной системы самолета. В параграфе 4.3 приведены результаты численных экспериментов на полномасштабной модели топливной системы самолета, проектируемого «ОКБ Сухого». Параграф 4.4 содержит результаты численных экспериментов на гибридной 1D-3D модели части гидравлической системы маневренного самолета.

В заключении сформулированы основные результаты, изложенные в диссертации.

Основные результаты диссертации, выносимые на защиту, опубликованы в 28 печатных работах, среди которых 9 статей в журналах из перечня ведущих рецензируемых изданий ВАК РФ (7 из которых также входят

в индекс цитирования SCOPUS и/или Web of Science), получено 6 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ, реализующих разработанные в рамках диссертации алгоритмы. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 12 всероссийских и международных конференциях.

Автореферат диссертации в целом отражает содержание работы.

Замечания по диссертационной работе

В диссертации делаются следующие предположения относительно движения топлива в топливно-гидросистеме (в рамках одномерного подхода)

1. Адиабатичность процесса движения топлива в трубках
2. Отсутствие растворенных газов в топливе
3. Отсутствие кавитации топлива.
4. Отсутствие сжимаемости (как воды, так и податливости самих трубок)

Учет таких физических эффектов увеличил бы точность метода моделирования и имел бы более предсказательную силу на предмет моделирования гидроударов, переходных и нестационарных процессов в гидросистеме.

Заключение

Приведенные замечания никаким образом не влияют на высокую оценку диссертационной работы Ялозо А.В., а скорее носят характер рекомендаций для будущих исследований. Диссертационная работа Ялозо А.В. представляет собой завершенную научно-исследовательскую работу, выполненную на высоком научном уровне. Полученные результаты достоверны, являются новыми, выводы и заключения обоснованы.

На основании анализа содержания рукописи диссертации, автореферата, опубликованных работ можно заключить, что **диссертация в полной мере соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней»** (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой

степени кандидата наук, а ее автор, Ялозо Андрей Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Технический директор ООО «ТЕСИС», Аксенов А. А. к.ф.-м.н.

Адрес организации: 127083, Россия, Москва, ул. Юннатов, дом 18, 7-й этаж, оф.705.

Телефон: +7 (495) 612-4422

E-mail: info@tesis.com.ru

Подпись Аксенова Андрея Александровича удостоверяю



Курсаков С.Н..

Генеральный директор
ООО ТЕСИС