

## ОТЗЫВ

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

Диссертационная работа посвящена разработке математических методов, алгоритмов и программного комплекса для моделирования инженерных гидросистем летательных аппаратов. В диссертации представлены результаты разработки:

- методики гибридного 1D-3D моделирования работы систем разветвленных трубопроводов, основанной на итерационной процедуре обмена общими граничными условиями между разномасштабными областями с учетом восстановления картины развитого течения в трехмерной области;

- метода и алгоритма «каскадного сбора глобального уровня» многосеточного метода решения СЛАУ на многопроцессорной ЭВМ для ускорения трехмерного моделирования гидродинамических течений;

- программного комплекса «FlowDesigner» для моделирования работы инженерных гидросистем с возможностью совместного с пакетом программ «ЛОГОС» (далее – ПП ЛОГОС) расчета гибридных 1D-3D моделей;

- минимального базиса задач верификации разработанных методов и алгоритмов, а также результаты решения промышленно-ориентированных задач авиастроения с помощью разработанного программного комплекса «FlowDesigner».

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и двух приложений.

Во введении обосновывается актуальность исследований, приводится обзор научной литературы по изучаемой проблеме, формулируется цель, ставятся задачи работы, излагается научная новизна и практическая значимость представляемой работы. В последующих главах приводятся основные полученные результаты.

В первой главе описывается методика гибридного 1D-3D моделирования гидродинамических течений в инженерных гидросистемах, когда задача целиком решается в одномерном приближении, при этом выделяются один или несколько участков, гидродинамические характеристики которых оцениваются с помощью методов трехмерного численного моделирования. Основная идея одномерного метода состоит в представлении гидросистемы в виде набора соединенных между собой элементов. Каждый элемент описывается своим набором уравнений, основанных на законах сохранения и его эмпирических характеристиках в рамках общей системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Метод моделирования гидродинамики в трехмерной постановке основан на использовании алгоритма типа SIMPLE. Связь одномерной и трехмерной моделей основывается на организации обменов граничными условиями между разномасштабными областями по ходу проведения расчета. Предложен алгоритм, позволяющий получить полностью развитый поток на входе в трехмерную область.

Во второй главе рассмотрены вопросы, связанные с реализацией и практическим применением алгебраического многосеточного метода с агрегативным способом огрубления для ускорения численного решения уравнений, описывающих течения вязкой несжимаемой жидкости в трехмерном приближении. Описан предложенный диссертантом модифицированный подход к формированию глобального уровня, заключающийся в параллельной работе уменьшающегося числа процессов, и его реализация в рамках ПП ЛОГОС. Приведенные в главе результаты численных экспериментов показывают, что модифицированный многосеточный метод при использовании большого процессорного поля позволяет до 10 раз ускорить время решения СЛАУ.

В третьей главе представлено описание разработанного при определяющем участии диссертанта программного комплекса «FlowDesigner», предназначенного для моделирования



работы инженерных гидросистем в одномерном приближении с возможностью расчета гибридных 1D-3D моделей в связке с ПП ЛОГОС. Приведены особенности организации архитектуры программного комплекса и представлен подход для моделирования логических управляющих систем. Представленные результаты по верификации программного комплекса «FlowDesigner» на серии численных экспериментов хорошо согласуются с эталонными данными.

В четвертой главе приведены результаты внедрения программного комплекса «FlowDesigner» в моделирование инженерных гидросистем самолетов. Результаты численных экспериментов, проведенных совместно с ПАО «Компания «Сухой» «ОКБ Сухого» и описанных в данной главе, подтверждают, что разработанный программный комплекс позволяет успешно моделировать как отдельные подсистемы, так и полные модели топливных и гидравлических систем реальных летательных аппаратов.

В заключении сформулированы основные результаты, изложенные в диссертации:

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. Разработан и реализован в рамках ПП ЛОГОС многосеточный метод решения СЛАУ с использованием алгоритма «каскадного сбора глобального уровня» для ускорения трехмерного моделирования гидродинамических течений в высокопараллельном режиме.


3. Разработан кроссплатформенный программный комплекс «FlowDesigner» одномерного моделирования гидродинамических течений в инженерных гидросистемах с возможностью совместного с ПП ЛОГОС расчета гибридных 1D-3D моделей.

4. Составлен минимальный базис задач верификации и приведены результаты верификации разработанных методов и алгоритмов.

5. Представлены результаты численного моделирования промышленно-ориентированных задач авиационной и внедрения разработанного программного комплекса «FlowDesigner» в практическую деятельность по разработке перспективных образцов летательных аппаратов.

Полученные результаты, несомненно, имеют научную и практическую значимость. Соискатель Ялозо А.В. является квалифицированным научным работником, способным самостоятельно выявлять актуальные научные проблемы и реализовывать подходы к их решению в виде полноценных программных комплексов. Диссертация Ялозо А.В. представляет законченную научно-квалификационную работу и соответствует всем требованиям ВАК РФ. Считаю, что ее автору Ялозо Андрею Владимировичу может быть присуждена ученая степень кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Научный руководитель:  
начальник научно-исследовательского  
отдела ИТМФ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»,  
доктор физико-математических наук

 30.11.19

А.С. Козелков

Подпись А.С. Козелкова заверяю,  
ученый секретарь ФГУП «РФЯЦ ВНИИЭФ»,  
кандидат физико-математических наук



  
В.В. Хижняков

Сведения об организации: Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», Федеральное государственное унитарное предприятие РОССИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР «Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» (ФГУП «РФЯЦ - ВНИИЭФ»); 607188, Нижегородская обл. г.Саров, пр. Мира, д.37, Телетайп 151535 «Мимоза» Факс 83130 29494, E-mail: staff@vniief.ru.