

Инжиниринговая компания «ТЕСИС»

Международный форум

Инженерные системы - 2015

6 – 7 апреля 2015 г.

Тезисы докладов FlowVision

Москва
2015

Инженерные системы-2015. Программа и тезисы докладов
Международного форума. Москва. 6-7 апреля 2015г.

© Коллектив авторов, 2015

© ООО «ТЕСИС», 2015

ТЕЗИСЫ

Конференция пользователей FlowVision

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ В ТУРБОМАШИНАХ КРИОРЕФРИЖЕРАТОРА

Тимушев С. Ф., Клименко Д. В., Федосеев С. Ю.

МАИ, г. Москва

Криорефрижератор является одним из главных узлов системы криостатирования, предназначенной для обеспечения температурного и теплового режимов работы сверхпроводящих кабельных линий, баков, с криогенным топливом, для ракетно-космических блоков. В криорефрижераторе используется схема компримирования и расширения неона с помощью центробежных компрессорных ступеней и радиального турбодетандера. Массовая подача неона в системе составляет 0,12 кг/с. В качестве нагрузки турбодетандера выступает предварительная центробежная компрессорная ступень со степенью сжатия около 1,1 и мощностью 3 кВт. На основе выполненного по методикам МАИ расчета проведено профилирование компрессоров с оптимизацией по КПД, где основными ограничивающими параметрами были частота вращения и мощность. Первая и вторая ступени основного компрессора и предварительная компрессорная ступень должны обеспечивать давление на выходе не менее 3.1 бара для создания необходимого теплоперепада на детандере. Энергетическая увязка параметров детандера и предварительное профилирование обеспечивают изменение температуры в 24.5 К (с 87 К на входе до 62,5 К на выходе турбодетандера) при степени расширения 3.6. При этом развиваемая мощность достигает 3 кВт при КПД 70%. Частота вращения турбодетандера составляет 45000 об/мин. Частота вращения основного компрессора – 48000 об/мин при суммарной мощности двух ступеней 25 кВт. С использованием ПО FlowVision проведены вычислительные эксперименты с целью получения энергетических параметров компрессорных ступеней, температурного перепада на детандере, оценке внутренних КПД и амплитуд пульсаций давления в проточной части турбомашин. Расчеты проведены с использованием метода «скользящих поверхностей» в двух версиях ПО FlowVision – 2.54 и 3.09. Полученные результаты позволили уточнить параметры турбомашин и получить спектры пульсаций давления в зазоре между сопловым аппаратом и рабочим колесом детандера, а также в зоне радиального зазора и каналах направляющего аппарата центробежных компрессорных ступеней.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВИНТОКОЛЬЦЕВЫХ (ВЕНТИЛЯТОРНЫХ) ДВИЖИТЕЛЕЙ БПЛА ВВП

Гришанов В.В.¹, Малинин А.В.¹, Тарасенко М.М.²

¹ МАИ, г. Москва

² НИМК ЦАГИ, г. Москва

БПЛА ВВП, в которых для создания тяги и (или) подъёмной силы используются винто-кольцевые, или вентиляторные движители, являются перспективными. В наше время проводятся многочисленные исследования и разработки таких аппаратов.

В работе проведена верификация метода численного моделирования обтекания БПЛА использующего роторы в кольце в качестве движителя. Для расчёта использован программный комплекс FlowVision реализующий алгоритм численного решения системы уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу. Была проведена верификация модели по топологии расчётной сетки, количеству расчётных узлов, модели турбулентности, начальной турбулентности, месту расположения активного диска по высоте канала. Сопоставлены характеристики БПЛА моновентиляторной схемы, полученные в численном моделировании и эксперименте в АДТ. Показана возможность использования методов математического моделирования с упрощенным представлением лопаточных венцов для исследования характеристик БПЛА с роторами в кольце.

Отлаженная модель математического моделирования была использована для исследования интерференции близко расположенных движительных модулей. Выполнено численное моделирование работы нескольких (двух и четырёх) движителей расположенных недалеко друг от друга в различных пространственных положениях.

Показано влияние расстояния между движительными модулями при продольном и поперечном их расположении, на аэродинамические характеристики БПЛА. При относительных скоростях набегающего потока от 0,08735 до 0,1747 изменение величины коэффициента сопротивления может достигать 20%. Изменение коэффициента подъемной силы может достигать 35%. Изменение коэффициента поперечного момента может достигать 35%

Показано, что имеет место существенное интерференционное влияние близко расположенных модулей на распределение давления по поверхности колец и на поля скоростей вблизи модулей.

ИССЛЕДОВАНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЗВРАЩАЕМОГО АППАРАТА НА ПОСАДОЧНОМ РЕЖИМЕ И ВОЗДЕЙСТВИЯ СТРУЙ НА ГРУНТ

Жаркова В.В.¹, Фишер Ю.В.¹, Ивчик А.Л.¹, Щеляев А.Е.¹,
Дядькин Ф.Ф.², Сухоруков В.П.²

¹ ООО «ТЕСИС», г. Москва

² ОАО «РКК Энергия», г. Королёв

В работе представлены результаты расчетного исследования аэродинамических и газодинамических характеристик возвращаемого аппарата (ВА) на посадочных режимах с учетом воздействия струй посадочной твердотопливной двигательной установки (ПТДУ) на посадочную поверхность.

При моделировании обтекания аппарата рассмотрены следующие расчетные случаи:

- обтекание ВА с выключенной ПТДУ при движении на парашюте (с вертикальной скоростью) и при ветровом сносе (с горизонтальной скоростью);

- обтекание аппарата на посадочном режиме при различных высотах и углах тангажа с работающими соплами (только вертикальными и одновременно вертикальными и горизонтальными);

- обтекание ВА «холодными» струями при работе вертикальных сопел на различных высотах для воспроизведения условий модельных испытаний.

В процессе реализации вычислительного эксперимента в качестве рабочего тела, истекающего из сопел ПТДУ, применялось вещество со свойствами продуктов сгорания.

Проведенные расчеты показали, что взаимодействие струй ПТДУ с посадочной поверхностью, формирует сложную пространственную картину течения с возвратными токами между ВА и посадочной поверхностью, где структура течения меняется с изменением высоты. На посадочных режимах определены и проанализированы газодинамические силы и моменты, действующие на аппарат, а также величины давлений на поверхности аппарата и посадочной поверхности.

Изучено влияние рабочего тела на величину газодинамических воздействий на ВА и посадочную поверхность и получены структуры течений около аппарата.

МОДЕЛИ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В FLOWVISION

Жлуктов С.В.

ООО «ТЕСИС», г. Москва

В докладе делается обзор математических моделей физических процессов: движение, теплоперенос, турбулентность, массоперенос, излучение, перенос С фазы, перенос Д фазы, электродинамика, - реализованных в программном комплексе FlowVision. Более подробно обсуждаются модели, реализованные за последние 12 месяцев.

Модель течения неньютоновской жидкости Бёрда-Карро (Bird-Carreau) реализована в экспериментальной версии ПК FlowVision (в стандартном релизе она отсутствует). Модель предполагает зависимость динамического коэффициента вязкости от градиента скорости и от температуры. Она предназначена для моделирования течения резины в смесителях и экструзионных машинах. Демонстрируются результаты расчётов течения резины в смесителе.

Модель турбулентности KEFV реализована в основной версии ПК FlowVision. Данная относительно простая k-ε модель турбулентности позволяет предсказывать положение байпасного ламинарно-турбулентного (ЛТ) перехода на твёрдой поверхности. Возможности модели иллюстрируются результатами решения известных тестовых задач ТЗВ, ТЗА, ТЗА. Предлагается инженерный подход к моделированию ЛТ перехода, индуцированного отрывом ламинарного потока. Демонстрируются результаты низко-рейнольдсовых расчётов течения воздуха около профиля Eppler-387.

В докладе представлена последняя версия модели пристеночных функций WFFV. Демонстрируются результаты высоко-рейнольдсовых расчётов с использованием этих пристеночных функций и различных моделей турбулентности.

Излагаются направления “физического” развития ПК FlowVision и ближайшие планы.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МИНИ ГЭС СИФОННОГО ТИПА

Король Ю.М.

НУК, г. Николаев

В мини гидроэлектростанциях сифонного типа чаще всего используются гидротурбины осевого типа. Несовершенство существующих методик расчета таких турбин обычно компенсируется установкой поворотных лопаток турбин и направляющего аппарата, что существенно увеличивает их стоимость и одновременно снижает надежность.

В докладе приводится методика расчета системы осевая турбина –

направляющий аппарат основанная на применении безразмерных гидродинамических характеристик, которые можно получить при помощи физического или численного экспериментирования. С экономической точки зрения наиболее эффективным следует считать моделирование в CFD пакетах. Расчеты, выполненные автором в CFD пакете FlowVision, позволили не только получить искомые безразмерные гидродинамические характеристики осевых турбин, но и разработать методику их оптимизационного проектирования.

ИССЛЕДОВАНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЗВРАЩАЕМОГО АППАРАТА НА ПОСАДОЧНОМ РЕЖИМЕ И ВОЗДЕЙСТВИЯ СТРУЙ НА ГРУНТ

**Жаркова В.В.¹, Фишер Ю.В.¹, Ивчик А.Л.¹, Щеляев А.Е.¹,
Дядькин Ф.Ф.², Сухоруков В.П.²**

¹ ООО «ТЕСИС», г. Москва

² ОАО «РКК Энергия», г. Королёв

В работе представлены результаты расчетного исследования аэродинамических и газодинамических характеристик возвращаемого аппарата (ВА) на посадочных режимах с учетом воздействия струй посадочной твердотопливной двигательной установки (ПТДУ) на посадочную поверхность.

При моделировании обтекания аппарата рассмотрены следующие расчетные случаи:

- обтекание ВА с выключенной ПТДУ при движении на парашюте (с вертикальной скоростью) и при ветровом сносе (с горизонтальной скоростью);

- обтекание аппарата на посадочном режиме при различных высотах и углах тангажа с работающими соплами (только вертикальными и одновременно вертикальными и горизонтальными);

- обтекание ВА «холодными» струями при работе вертикальных сопел на различных высотах для воспроизведения условий модельных испытаний.

В процессе реализации вычислительного эксперимента в качестве рабочего тела, истекающего из сопел ПТДУ, применялось вещество со свойствами продуктов сгорания.

Проведенные расчеты показали, что взаимодействие струй ПТДУ с посадочной поверхностью, формирует сложную пространственную картину течения с возвратными токами между ВА и посадочной поверхностью, где структура течения меняется с изменением высоты. На посадочных режимах определены и проанализированы газодинамические силы и моменты, действующие на аппарат, а также величины давлений на поверхности аппарата и посадочной поверхности.

Изучено влияние рабочего тела на величину газодинамических воздействий на ВА и посадочную поверхность и получены структуры течений около аппарата.

РАЗРАБОТКА АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ КОМПОНОВКИ ВОЗДУШНОГО ТРАКТА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ВЕРТОЛЕТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ FLOWVISION

Глушков Т.Д., Митрофович В.В., Сустин С.А.
НИМК ЦАГИ, г. Москва

Рассматриваемая система охлаждения состоит из коллектора, соединяющего осевой вентилятор с блоком теплообменников и воздушного тракта, обеспечивающего отвод горячего воздуха, выходящего из вентилятора за пределы подкапотного пространства вертолета.

Для формирования воздушного тракта установки, которая ограничивается размерами подкапотного пространства вертолета, учитывая особенности расположения других агрегатов, помимо системы охлаждения, были сформированы несколько вариантов воздушного тракта за вентилятором. По имеющимся экспериментальным данным была произведена приближительная оценка потерь в воздушном тракте, что позволило аналитическим способом получить поля скоростей за рабочим колесом. Используя полученные поля скоростей, моделировалось течение в воздушном тракте для определения оптимальной компоновки. Из всех возможных вариантов компоновки воздушного тракта был выбран оптимальный, обладающий наилучшими аэродинамическими характеристиками. После проведения экспериментальных исследований выбранного воздушного тракта было получено хорошее совпадение аэродинамических характеристик полученных численным и экспериментальным путем.

ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИПЕРЗВУКОВОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Степанов М.М., Лебедева А.Ю.
БГТУ «ВОЕНМЕХ», г. Санкт-Петербург

В настоящее время освоение гиперзвуковых технологий является актуальной и перспективной задачей в самолето- и ракетостроении. Наиболее известны американские программы экспериментальных гиперзвуковых летательных аппаратов (ГЛА) X-51A, X-43 и HyFly. Это программы аппаратов большой дальности, которые должны осуществлять полет в плотных слоях атмосферы на скоростях более 6 махов.

Целью представляемой работы является определение полей скоростей, возникающих в полете, необходимых для прочностного и теплового расчета.

Рассматривался полет крылатого беспилотного ГЛА летящего, при заданных параметрах на различных высотах, при разных значениях скоростей и углов атаки. Внешний облик рассчитываемой модели соответствует облику американского аппарата X-51A.

В рамках данной работы было выполнено численное исследование и получены поля параметров ЛА, посчитаны аэродинамические коэффициенты.

В расчетах рассматривалось обтекание модели однородным потоком сжимаемого совершенного газа с параметрами, соответствующими стандартной атмосфере на высоте 24400 км при углах атаки $0^{\circ}, 7^{\circ}, 4^{\circ}$ и 10° .

Согласно ГОСТ4401-81 были заданы следующие значения: температура $T_{\infty} = 220,957$ К, давление $P = 2794,67$ Па, плотность $\rho_{\infty} = 0,0440617$ кг/м³. Скорость звука при заданных параметрах составляет 297,38 м/с. Расчетное число Маха $M = 6$, что соответствует скорости $V = 1784$ м/с.

При моделировании в данном случае рассматривался полет с неработающим двигателем. В качестве математической модели течения были использованы уравнения Навье - Стокса для сжимаемого совершенного газа. В качестве модели турбулентности использовались SST модель и k-ε модель.

Были выведены цветовые контуры различных параметров: температуры, давления, плотности, скорости и числа Маха на плоскостях в расчетной области. Наиболее наглядным является распределение давления. В случае, когда рассматривается полет при нулевом угле атаки, область высокого давления оказывается над телом, что обуславливается особенностями формы аппарата. При полете под углом атаки 4° и 10° область высокого давления находится уже под аппаратом.

Расчет производился в программе FlowVision версии 3.08.03 компании ООО «ТЕСИС».

ОПТИМИЗАЦИЯ СТАТИЧЕСКОГО МИКСЕРА

Саратов А.А.¹, Аксенов А.А.²

¹ ООО «Датадванс», г. Москва

² ООО «ТЕСИС», г. Москва

Статические миксеры используются для смешивания двухкомпонентных материалов в различных областях - от медицины до тяжелой промышленности. Существуют различные типы миксеров, которые отличаются конфигурацией смешивающих элементов, размерами и назначением.

В данной работе рассматривается задача моделирования работы и оптимизации геометрических параметров винтового миксера, выполненная для компании Sulzer Mixpack.

Цель работы – подобрать геометрические параметры элементов, обеспечивающие наилучшее качество перемешивания и минимальный перепад давления в миксере. Диаметр канала миксера составляет 10 мм, а винтовые смешивающие элементы описываются четырьмя параметрами:

- Шаг винтовой линии;
- Число оборотов в одном элементе;
- Толщина элемента;
- Угол между соседними элементами.

Моделирование ламинарного течения и смешения двух вязких жидкостей производится в программном пакете FlowVision. При этом мы пренебрегаем физической диффузией и используем модель смешения «Химия» с бесконечно большим числом Шмидта.

На каждой итерации оптимизационного процесса в CAD-системе SolidWorks производится перестроение геометрии элементов смесителя, после чего новая геометрия передается в расчет с помощью модификатора «подвижное тело».

В качестве среды для автоматизации расчета и оптимизации используется пакет rSeven, основанный на алгоритмическом ядре MACROS. Решается двухкритериальная оптимизационная задача, в которой в качестве целевых функций рассматривается качество смешивания в смысле средней по потоку дисперсии массовой доли одной из жидкостей.

Использованный алгоритм оптимизации основан на построении аппроксимационных моделей целевых функций, что позволяет обойтись относительно небольшим числом вычислений. Так, для получения Парето-фронта в этой задаче исследовано всего 110 вариантов геометрии смешивающих элементов.

В рамках работы был исследован вопрос о влиянии численной диффузии на результаты моделирования и изучена сеточная сходимость расчета. Поскольку в ходе оптимизации важно только относительное значение целевых функций, она проводилась на относительно грубой сетке, а затем для полученных оптимальных конфигураций были выполнены дополнительные расчеты для получения более достоверных значений и сравнения с исходной геометрией. Такой подход позволил существенно сократить время расчета.

В результате решения задачи был получен фронт Парето-оптимальных конфигураций смешивающих элементов и показано, что качество смешивания может быть улучшено, по крайней мере, на 20%.

Для полученного в ходе оптимизации набора данных был проведен анализ чувствительности целевых функций к геометрическим параметрам смешивающих элементов.

СТАТИСТИКА И ОБРАБОТКА РАСЧЕТНЫХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЭКС КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ

Булысова Л.А., Васильев В.Д., Пугач К.С.
ОАО «ВТИ», г. Москва

Доклад посвящен изучению процессов, протекающих в малоэмиссионной КС со сжиганием предварительно перемешанной топливовоздушной смеси (ТВС). Приведены результаты расчетных и экспериментальных исследований на FlowVision и экспериментальной установке испытательного стенда ОАО "ВТИ".

Для различных вариантов раздачи топлива в горелочное устройство проведены расчеты полей концентрации ТВС на выходе из зоны предварительного перемешивания горелки (ЗПП). Экспериментальные данные получены для тех же конфигураций подачи топлива при тех же входных параметрах. Испытания и расчеты проведены на природном газе при расходе, давлении и температуре воздуха на входе до 4,6 кг/с, до 450 КПа и 673 °К и температуре на выходе $T_3^* \leq 1473^\circ\text{K}$.

Достоверность расчетов полей концентрации ТВС проверена ранее на модельной КС (доклад "Инженерные системы - 2013г."). В настоящей работе представлено сравнение между экспериментально замеренными эмиссиями NO_x и расчетным значением среднеквадратичной неравномерности поля концентрации ТВС на выходе из ЗПП (см. рис. 1а), оцененным по формуле (1):

$$\sigma_{\text{CCH}_4} = \sqrt{\frac{\int_S (c_{\text{CCH}_4} - \overline{c_{\text{CCH}_4}})^2 \cdot \rho \cdot V_n \cdot dS}{\int_S \rho \cdot V_n \cdot dS}} \quad (1)$$

Кроме того проведена оценка влияния давления на рост эмиссии NO_x при разном качестве ТВС на выходе из ЗПП, оцененном по σ_{CCH_4} (см. рис. 1б)

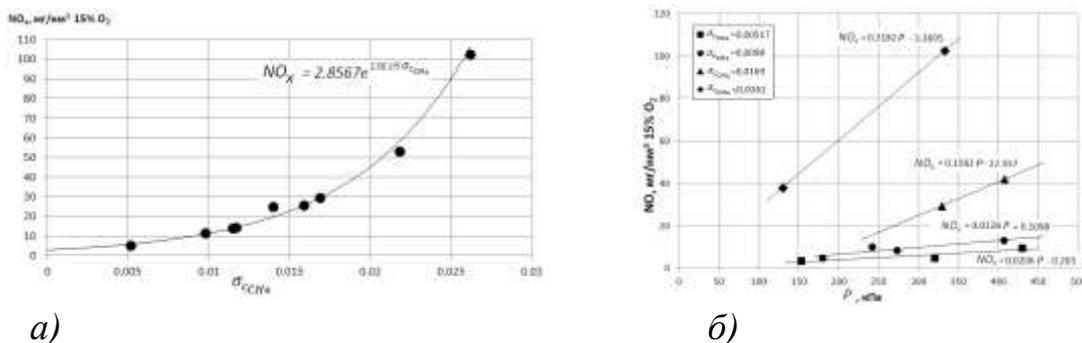


Рис. 1. Корреляционные зависимости: а - NO_x и σ_{CCH_4} при постоянных $P_{\text{вх}}=330$ кПа, $T_{\text{вх}}=610^\circ\text{K}$, $\alpha=3.02$; б - NO_x от давления воздуха на входе при разных σ_{CCH_4}

Количественно показано, что при более равномерном распределении $C_{сн4}$ эмиссии NO_x слабее зависят от давления, чем при неравномерном.

Показано влияние эпюры распределения топлива на форму и расположение фронта пламени в зоне горения. На данной МЭКС проверен ранее полученный расчетный критерий устойчивости горения (доклад "Инженерные системы - 2013г.") и подтверждена эффективность его использования.

Результаты, представленные в данном докладе, получены при финансовой поддержке Минобрнауки России Соглашение №14.579.0085 от 28 ноября 2014 г.

РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА СХЕМЫ «ЛЕТАЮЩЕЕ КРЫЛО» С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА FLOWVISION

Калашников С.В., Кривошапов А.А., Митин А.Л., Николаев Н.В.
ФГУП ЦАГИ, г. Жуковский

Модернизация методики аэродинамического эксперимента на современном уровне подразумевает создание математических моделей аэродинамических труб (Электронных АДТ). Применение электронных АДТ в перспективе способно обеспечить получение достоверных аэродинамических характеристик летательных аппаратов по результатам исследования их моделей в аэродинамических трубах, «стыковки» результатов, полученных на разных установках, сравнения расчетов моделей в безграничном потоке и с учетом влияния подвесных устройств и границ потока в рабочей части экспериментальной установки.

Решение данной задачи требует создания научного задела, что, в свою очередь, требует проведения обширного комплекса расчетных исследований на основе численного решения осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье - Стокса с применением суперкомпьютерных технологий.

В данной работе представлены результаты расчетов аэродинамических характеристик тематической модели летательного аппарата схемы «летающее крыло» в безграничном потоке при разных углах атаки, полученные в рамках первого этапа работы по созданию математической модели рабочей части аэродинамической трубы Т-102 ЦАГИ. Результаты работы были получены с использованием вычислительных ресурсов МВК НИЦ «Курчатовский институт» (<http://computing.kiae.ru/>).

РАСЧЕТ ОТРЫВНЫХ ТЕЧЕНИЙ ГАЗА В ПЛОСКОМ СВЕРХЗВУКОВОМ СОПЛЕ ПРОГРАММНЫМ КОМПЛЕКСОМ FLOWVISION И СОПОСТАВЛЕНИЕ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ

Луньков А.О.
МФТИ, г. Долгопрудный

В целях верификации программного комплекса FlowVision применительно к расчету отрывных течений в сверхзвуковых соплах проведена серия расчетов турбулентных течений в плоском сверхзвуковом сопле с отрывом потока. Размеры сопла, характеристики потока и экспериментальные данные для сравнения взяты из работы [1]. В эксперименте варьировалось отношение N давления на входе в сопло P к внешнему давлению P_a . В расчетах давление на входе оставалось постоянным и задавалось расходом, а нужные отношения N достигались изменением внешнего давления. Температура на входе принималась равной температуре окружающей среды, использовалась $k - \epsilon$ модель турбулентности. Выбранная расчетная сетка двумерная с адаптацией в зоне основных особенностей течения и на стенках сопла. Общее число ячеек приблизительно 250000. Расчетные данные вполне удовлетворительно соотносятся с экспериментом, как по положению точки отрыва, так и по величине восстанавливаемого давления в зоне рециркуляционного течения после отрыва, что позволяет полагать использование рассматриваемого программного пакета корректным для расчета подобных задач.

ОПТИМИЗАЦИЯ СУДОВЫХ ОБВОДОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ

Печенюк А. В.
Digital Marine Technology, г. Одесса

Основные технико-эксплуатационные и экономические показатели судна в значительной степени определяются эффективностью его движения. Рациональным путем повышения эффективности является снижение буксировочного сопротивления за счет оптимизации формы корпуса.

Автором разработан комплексный метод совершенствования судовых обводов, ориентированный на использование численного моделирования. С помощью метода были выполнены численные и экспериментальные исследования по нескольким судам - объектам. Были получены интересные результаты, анализ которых показал, что они представляют как практический, так и научный интерес, который заключается в новых сведениях о влиянии формы носовой части корпуса на сопротивление.

Метод позволяет оптимизировать параметры продольного распределе-

ния водоизмещения в оконечностях, выбор которых до сих пор не был охвачен формальными методиками или подробными рекомендациями. Снижение сопротивления при этом может достигать существенных величин, которые обеспечивают заметное улучшение проектных показателей.

Для контейнеровоза KCS было получено снижение сопротивления 8.9%. Исследование KCS показало, что при высоких числах Фруда, в режимах с развитым волнообразованием относительно небольшие изменения формы довольно сильно влияют на сопротивление.

Результаты по тихоходным судам показали, что сопротивление меняется слабее при достаточно интенсивных модификациях обводов. Это связано с небольшой долей волнового сопротивления, зависящего от формы. Однако результат применения метода зависит от того, насколько исходные обводы далеки от оптимальных. Для одного из объектов, который имеет реальный прототип, было получено снижение сопротивления 15.6%.

РЕЗУЛЬТАТЫ УЧАСТИЯ В 2ND AIAA PROPULSION AERODYNAMICS WORKSHOP (2014)

Фишер Ю.В., Михайлова М.К.
ООО «ТЕСИС», г. Москва

Представленная работа проведена в рамках подготовки к семинару «AIAA Propulsion Aerodynamics Workshop». Цель семинара - оценка возможностей численного моделирования (в том числе сеток, моделей турбулентности, требований к рабочим станциям, метода моделирования) современных CFD-пакетов/кодов.

Оценка точности CFD-расчетов проводится путем сравнения с полученными экспериментальными данными и набором статистических данных.

В докладе рассматривается одна из задач семинара – истечение воздуха из сужающегося сопла с различной геометрической конфигурацией. Сопла осесимметричные с углом сужения 15°, 25°, 40°, а также профилированное сопло. Располагаемая степень понижения давления в сопле варьируется от 1,4 до 7. Сравнение с экспериментом и расчетами в других CFD-кодах проводится по коэффициентам расхода и тяги сопла и по ударно-волновой картине в струе. По коэффициенту расхода сопла показано хорошее согласование расчетов FlowVision с экспериментом. По коэффициенту тяги расчет во FlowVision показал несколько завышенный по сравнению с экспериментом результат, но при этом хорошее совпадение с аналитическими данными и расчетами Fluent.

В докладе приводятся дополнительные исследования в рамках данной задачи по подбору сетки и влиянию схемы интегрирования.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗРЫВОВ В ПК FLOWVISION

Фишер Ю.В., Тишин А.П.

ООО «ТЕСИС», г. Москва

Моделирование распространения взрывной волны в воздухе представляет интерес при оценке последствий взрывов и предопределение масштаба разрушений на промышленных объектах и в общественных местах.

В представленной работе рассматривается моделирование взрыва конденсированных взрывчатых веществ в воздухе. Используется известный метод задания сферы со сжатым газом как источника взрыва, расчет давления для начальных условий внутри сферы проводится по формуле Броуда. Предлагается развитие метода, предусматривающее учет свойств продуктов взрыва любой композиции взрывчатого вещества. Данный подход позволяет определить необходимые для моделирования параметры без учета тротилового эквивалента, данные о котором могут отличаться в разных источниках, а также учесть реальный тепловой эффект.

Проведено численное исследование взрыва заряда взрывчатого вещества в открытой местности и в присутствии жестко закрепленной стенки. Показано хорошее согласование с экспериментом по пику и импульсу давления прямой и отраженной от стенки волны. Еще один эксперимент – взрыв в городской среде, проведенный на масштабной модели 1:50, для которого также показана адекватность представленной методики моделирования в ПК FlowVision путем сравнения давления в датчиках на стенах здания.

В работе определяются границы предложенного способа, его достоинства и недостатки и рекомендации по его применению.

АНАЛИЗ ХОДОВЫХ КАЧЕСТВ ЯХТЫ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА FLOWVISION

Михайлова М.К., Щеляев А.Е.

ООО «ТЕСИС», г. Москва

Проектирование нового судна – сложный творческий процесс, требующий опыта и современных средств моделирования. В докладе рассматривается вопрос применения CFD продукта общего назначения FlowVision для расчета яхт.

При сравнении результатов расчета FlowVision с классическими методами расчета, основанными на статистических данных, FlowVision с хорошей точностью предсказывает изменение буксировочного сопротивления и начало переходного периода, что позволяет использовать его при проектировании новых корпусов, для которых невозможно применение простой формулы.

Программный комплекс FlowVision может быть применен для доводки

корпуса судна с целью уменьшения его буксировочного сопротивления, для проверки правильности пересчета характеристик с модели на полноразмерное судно. При этом обязательно проводить верификацию программного комплекса и сравнение с экспериментальными методами для корректной постановки задачи.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ FLOWVISION ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТРАНСПОРТНОГО КОРАБЛЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

**Щеляев А.Е.¹, Михайлова М.К.¹, Жаркова В.В.¹, Фишер Ю.В.¹,
Дядькин А.А.¹, Симакова Т.В.², Ивчик А. Л.²**

¹ ООО «ТЕСИС», г. Москва

² АО «РКК Энергия», г. Королев

С 2010 года компания ТЕСИС является членом в негласного консорциума, созданного РКК «Энергия» для решения рабочих вопросов при проектировании и конструировании перспективного транспортного корабля методами численного моделирования. В течение выполнения рабочего проектирования специалистами компании ТЕСИС с помощью программного комплекса рассматривались расчетные случаи, относящиеся к этапу возвращения корабля с орбиты, результатом которых являлось определение аэродинамических и газодинамических сил, воздействующих на космический корабль, а также характеристики процесса разделения элементов спускаемого модуля.

Были рассмотрены режимы включения тормозной двигательной установки (ДУ), на этапе снижения; взаимодействия реактивных струй тормозной ДУ с посадочной поверхностью (грунт, вода) и определения ударного воздействия отраженной газодинамической струи от ДУ на корпус спускаемого модуля; срабатывание ДУ системы аварийного спасения; отстрел крышки контейнера тормозного парашюта.

Полученные результаты позволили получить необходимые данные для выбора конструкторских решений при формировании облика космического корабля в условиях отсутствия возможности провести широкомасштабные экспериментальные исследования. Для решения всех поставленных РКК «Энергия» задач разработчики FlowVision постоянно проводят работы по совершенствованию функционала программного комплекса и методик его использования для решения отраслевых задач. Т.е. процесс проектирования нового космического корабля затронул развитие не только технологий, связанных с материаловедением и перспективными двигательными установками, но и технологий, связанных с математическим моделированием сложных физических процессов, которые будут востребованы и в других отраслях российской промышленности.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАСШТАБИРУЕМОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ПК FLOWVISION НА СУПЕРКОМПЬЮТЕРАХ "ЛОМОНОСОВ" И "ЛОМОНОСОВ-2"

Акимов В.С.

ООО «ТЕСИС», г. Москва

Развитие вычислительной техники происходит ежедневно, производители предлагают все более и более совершенные устройства, а вычислительные центры оборудуются с применением более современных технологий. С одной стороны растет количество ядер процессоров, с другой – расширяется шина памяти и совершенствуется интерконнект между процессорами. Таким образом, перед инженерами компаний, занимающихся инсталляцией суперкомпьютерных комплексов, стоит нелегкая задача: максимально эффективно использовать возможности современной суперкомпьютерной техники. Тем временем конечный результат оценивается производительностью вычислений и экономической целесообразностью.

Одним из наиболее распространенных вариантов использования мощностей суперкомпьютеров являются инженерные расчеты в области гидро- и газодинамики. Со стороны пользователей CFD-кодов спрос на повышение производительности вычислений всегда будет актуальным. Спектр решаемых задач и требования к точности давно вывели потребности в ресурсах за пределы однопроцессорных компьютеров, поэтому скорость счета, в основном, определяется возможностью эффективно ускорять расчет посредством использования большого количества ядер и процессоров. Такая возможность называется масштабируемостью вычислений и зависит, прежде всего, от характеристик памяти, интерконнекта и умения программного кода этим пользоваться.

Исследование посвящено масштабируемости вычислений задач гидро- и газодинамики в программном комплексе FlowVision на суперкомпьютерах Ломоносов и Ломоносов-2. В ходе работ получены результаты масштабируемости вычислений по количеству ядер одного процессора для задачи, имеющей около 0,4млн. расчетных ячеек при распараллеливании по нитям и по MPI-процессам. Показано, что прирост скорости вычислений при использовании 16 потоков составляет всего 5% относительно 10 потоков, в то время как использование более 18 приводит к замедлению скорости вычислений. Использование распараллеливания вычислений внутри процессора по MPI-процессам ожидаемо оказывается немного менее выигрышным, чем по нитям. Также получены результаты масштабируемости по процессорам задачи с числом ячеек более 5млн при запусках, как с использованием логических ядер Hyper-Threading, так и без их использования. В случае использования логических ядер Hyper-Threading кривая масштабируемости перестает расти уже при использовании более 12 процессоров, в то время как использование

только физических ядер открывает возможности для значительного ускорения вычислений. Максимум ускорения при этом наблюдается в случае использования 28 процессоров, что соответствует 18,5 тыс. ячеек на нить, а время вычисления шага в этом случае составляет 36.2с. Проведен сравнительный анализ результатов, полученных при использовании двух суперкомпьютеров Ломоносов и Ломоносов-2. При сравнении скорости вычислений на оптимальных режимах запуска на обоих кластерах преимущество Ломоносов-2 составляет 30%, причем при меньшем количестве используемых ядер. Приведены рекомендации, обеспечивающие максимально эффективное использование вычислительных ресурсов современного суперкомпьютера Ломоносов-2 при решении задач гидро- и газодинамики.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПАДА СТРУЙ, ФОРМИРУЕМЫХ ФОРСУНКАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПК FLOWVISION

Акимов В.С.

ООО «ТЕСИС», г. Москва

Наиболее широко форсунки используются в двигателестроении. Процессы смесеобразования в двигателях всегда имеют определяющее значение в организации их работы. Одним из самых важных этапов в смесеобразовании является организация впрыскивания и распыливания топлива. Во многом именно качество распыливания топлива определяет показатели токсичности и эффективности двигателей. Требования к организации наиболее качественного распыливания топлива растут из года в год: с одной стороны формируемые форсункой струи должны обеспечивать наилучшую равномерность распределения топлива, наименьшие диаметры капель, с другой стороны необходимо обеспечить приемлемую дальность, чтобы избежать образования большого количества несгоревших углеводородов при испарении топлива со стенок. Очень актуальна проблема качественного распыливания топлива для судовых ДВС, где экономия нескольких мг/кВт*ч выливается в итоге в огромную экономию денежных средств.

Кроме двигателестроения, форсунки и распылители различного типа широко используются и в других отраслях промышленности, а так же в быту. Одним из наиболее широких видов применения является использование распылителей для охлаждения нагретых поверхностей деталей машин и станков. При этом на теплообмен значительное влияние оказывают характеристики распределения диаметров капель, толщина жидкостной пленки и свойства распыливаемой жидкости. Помимо экспериментальных методов спектр задач, обозначенных выше, может так же успешно решаться и численными методами.

Традиционно в России в вопросах моделирования формирования струи в двигателях обращаются к полуэмпирическим зависимостям для дальнотой-

ности топливного факела и среднего диаметра капель. Наиболее распространены зависимости, полученные А.С. Лышевским. Данные зависимости разработаны для конкретных случаев и имеют достаточно ограниченную область применения. Кроме того, в современных условиях, ведущие производители двигателей переходят к расчетам процессов смесеобразования и сгорания методами вычислительной гидро-газодинамики. В таком случае более современным и практически более целесообразным оказывается моделирование формирования струй так же методами CFD (Computational Fluid Dynamics).

Для моделирования процессов формирования струи методами CFD используются два подхода. Первый из них - прямое моделирование распада струи подразумевает применение модели Volume of fluid (VOF) и разрешение расчетной сеткой всего диапазона интересующих размеров капель [1], рис.1. Часто данный подход используют только для расчета первичного распада струи из-за высоких требований к вычислительным ресурсам. Второй подход состоит в задании начальных скоростей и распределения капель, исходя из экспериментальных данных, полуэмпирических моделей первичного распада или из результатов расчетов первичного распада струи. При этом дальнейшее продвижение дисперсных капель, их взаимодействие со сплошной средой считается с использованием модели дисперсной фазы, не требующей таких больших ресурсов, как метод прямого моделирования. Возможно также использование гибридного подхода: методом прямого моделирования распада струи определяются характерные размеры капель и их скорости в результате первичного распада струи, а дальнейшее движение капель, размеры которых уже не могут быть разрешены расчетной сеткой, моделируются в подходе дисперсной фазы.



Рис.1. Прямое моделирование первичного распада струи [1]

В данной работе продемонстрирована возможность прямого моделирования распада струи в ПК FlowVision на примере задачи формирования конической пустотелой струи форсункой клапанного типа (Рис.2). Предложены инструменты упрощающие анализ результатов. Проведены сравнения результатов с экспериментальными данными.



Рис.2. Моделирование распада струи, формируемой форсункой клапанного типа

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВО FLOWVISION ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Акимов В.С.¹, Аксенов А.А.¹, Жлуктов С.В.¹, Маркова Т.В.¹, С. Terrado²

¹ ООО «ТЕСИС», г. Москва

² Capvidia, Leuven, Belgium

Резина – широко применяемый материал во многих отраслях промышленности: в обувной, фармацевтической и других отраслях химической и легкой промышленности, в машиностроении, автомобилестроении и т.д. Она применяется для изготовления прокладок, труб, шин, демпферов, натяжных и соединительных устройств.

В условиях высокой конкуренции остро стоит вопрос совершенствования технологических процессов при производстве изделий из резины.

Основными этапами производства являются:

1. Изготовление резиновой смеси, состав которой у каждой компании-производителя индивидуальный;
2. Изготовление прорезиненной ленты-заготовки, которая может состоять как из одного, так и из нескольких слоев;
3. Процесс прессования для уплотнения и придания необходимой формы изделию;
4. Сборка, вулканизация и др.

Программный комплекс FlowVision может стать эффективным инструментом для достижения высоких экономических показателей предприятий, изготавливающих резинотехнические изделия.

В качестве примера рассмотрен ряд задач моделирования основных технологических процессов производства изделий из резины. Моделирование выполнялось с использованием неньютоновской жидкости, вязкость которой зависит от скорости и температуры.

1. Моделирование поведения жидкости в смесителе с определенными следующими параметрами: вязкости, скорости сдвига, температуры, давления, качества смешения при наличии нескольких компонентов.
2. Моделирование поведения жидкости при формировании изделия с помощью экструдера. Определение полей скоростей, давлений, тем-

ператур, точное значение которых необходимо для моделирования прессформ, для прогнозирования скорости движения ленты экструдера, а также для получения резинового изделия требуемого качества, например по толщине слоев различных компонентов.

3. Моделирование поведения жидкости в процессе профильного прессования многокомпонентной резиновой ленты, с целью анализа поведения жидкости и взаимодействия слоев жидкости.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ СОПЛА НА ПАРАМЕТРЫ ГАЗА НА СРЕЗЕ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ FLOWVISION

Горшенев Е.А.¹, Ханов Г.В.²

¹ АО «ЦКБ «Титан», г. Волгоград

² Волгоградский ГТУ, г. Волгоград

С развитием методов математического моделирования и появлением большого числа прикладных программ, все больший интерес набирает моделирование различных процессов, происходящих в технических устройствах, особенно в тех областях, где проведение физического эксперимента затруднено ввиду различных обстоятельств, как например, истечение высокотемпературных газов из сопел.

На практике имеется задача моделирования истечения уже известной газовой струи. Необходимо разработать модель аналогичной струи в программном комплексе по расчету процессов тепло- и массообмена. Решение поставленной задачи целесообразно производить с помощью отечественного программного комплекса Flow Vision, тем более, в связи с приоритетной задачей по внедрению в промышленность продукции импортозамещения.

Одним из первоначальных этапов решения данной задачи является профилирование сопла, так как форма газовой струи зависит от его геометрического профиля. При моделировании течения внутри сопла, желательно получить параметры струи на срезе (скорости, давления, температуры) с погрешностью не более 5% по отношению к имеющимся известным расчетным данным.

Поэтому необходимо провести исследование с серией вычислительных экспериментов, чтобы выявить геометрические факторы, влияющие на параметры газа на срезе сопла.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА FLOW VISION ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНВЕКТИВНЫХ ТЕЧЕНИЙ В ПОЛОСТЯХ РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИИ

Сухановский А.Н., Евграфова А.В., Попова Е.Н.
УрО РАН, г. Пермь

В настоящее время при проведении численных исследований часто используются различные коммерческие вычислительные пакеты. Одним из таких пакетов является российский программный комплекс FlowVision. Применение программных комплексов для проведения исследований различных гидродинамических процессов требует анализа границ их применимости и проведения сравнения результатов численных расчетов и экспериментов.

В данной работе представлены примеры численных расчетов конвективных течений в кубической полости, в неподвижном и вращающемся цилиндрическом слое жидкости в трехмерной постановке при помощи программного комплекса FlowVision. Проведено качественное и количественное сравнение результатов численных расчетов и экспериментов.

Авторы признательны ООО «ТЕСИС» за предоставленную возможность проведения расчетов при помощи комплекса FlowVision.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-01-96011

МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ПЕРВОМ КОНТУРЕ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

Жаркова В.В., Щеляев А.Е.
ООО «ТЕСИС», г. Москва

В докладе предлагается методика моделирования работы реакторной установки (РУ) на быстрых нейтронах со свинцово-висмутовым теплоносителем, предназначенной для выработки электричества и теплофикации для нужд регионов.

Реакторная установка сложна сама по себе и моделирование ее работы «в лоб» сопряжено с большими затратами времени и вычислительных ресурсов. В геометрической модели РУ присутствуют важные и достаточно мелкие детали, пренебрегать которыми недопустимо, а их прямое разрешение сеткой приводит к гигантским размерностям задачи. Использование функционала FlowVision позволяет заменить неудобные для моделирования элементы. Так, например, в постановке задачи было использовано допущение о замене активной зоны реактора с массивом тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов), а также части конструктивных элементов РУ, эквивалентным объемным гидравлическим сопротивлением. Дополнительно в активной зоне реактора

применялся модификатор объемного тепловыделения.

Стоит отметить, что определение гидравлического сопротивления конструктивных элементов первого контура составило отдельную большую задачу. В частности впервые за отечественную проектную практику были определены величины сопротивления пружинных элементов секций отражателя.

Приведенный пример решения частной задачи проектирования современной энергетической реакторной установки наглядно показывает, что активное применение современных инструментов математического моделирования позволяет на ранних стадиях отбросить все негодные конструкторские и технологические решения. И обладая необходимыми навыками в области использования конкретных инструментов моделирования можно говорить об осмысленной оптимизации затрат уже на этапе разработки без лишней необходимости в привлечении дорогостоящих экспериментальных работ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ КОММЕРЧЕСКИХ CFD-КОДОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕ

Низамутдинов В.Р., Осипов С.Л., Прокопцов И.С., Рогожкин С.А.
АО «ОКБМ Африкантов», г. Нижний Новгород

В моделях турбулентности, реализованных в большинстве CFD-кодах (ANSYS CFX, Star-CD, FlowVision, Fluent и др.), для учёта теплопереноса используется аналогия Рейнольдса – аналогия между теплообменом и переносом количества движения в турбулентном потоке. В жидких металлах вследствие большой теплопроводности и малой вязкости, распределение полей скорости и температуры существенно различаются друг от друга. Таким образом, теплоперенос в средах с $Pr \ll 1$ (жидкие металлы) существенно отличается от механизма теплопереноса в средах с $Pr \sim 1$ (воздух, вода), и использование моделей турбулентности с аналогией Рейнольдса для моделирования теплогидравлических процессов с натриевым теплоносителем может привести к некорректным результатам.

Для учёта специфики теплопереноса в натриевом теплоносителе в отечественном CFD-программном комплексе FlowVision реализована модель турбулентного теплопереноса LMS (Liquid Metals (Sodium)) [1, 2]. Эта модель включает в себя уравнения теплопереноса в турбулентном потоке, выражение для турбулентного числа Прандтля, поправку, учитывающую гравитационную анизотропию в тепловом потоке, тепловую пристеночную функцию.

В данной работе представлены результаты расчётного исследования течения натрия в круглой трубе с помощью коммерческих CFD-кодов: ANSYS

CFX, Star-CD и FlowVision (с моделью и без модели LMS). В задаче рассматривается развитое турбулентное течение жидкометаллического теплоносителя с температурой на входе в трубу $T_{вх} = 550\text{ }^{\circ}\text{C}$ и поддержанием наружной стенки трубы при постоянной температуре ($t_c = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$). В результате решения определяется средняя температура теплоносителя на выходе из трубы при варьировании критерия Пекле (Pe) от 300 до 10000, в соответствии с областью применения формулы для расчёта критерия Нуссельта $Nu = 5 + 0,025 \cdot Pe^{0,8}$ [3], используемой в аналитическом решении.

На рис. 1 представлены зависимости погрешности средней температуры на выходе из трубы, полученные с помощью CFD-кодов, от критерия Пекле при сравнении с аналитическим решением. Как видно из приведённых графиков, использование CFD-кодов ANSYS CFX, Star-CD и FlowVision (без LMS) приводит к большим погрешностям (до 34 %), применение модели турбулентного теплопереноса LMS в FlowVision позволяет существенно улучшить результаты расчётов для данного класса задач и достичь погрешности расчёта не более 8 %.

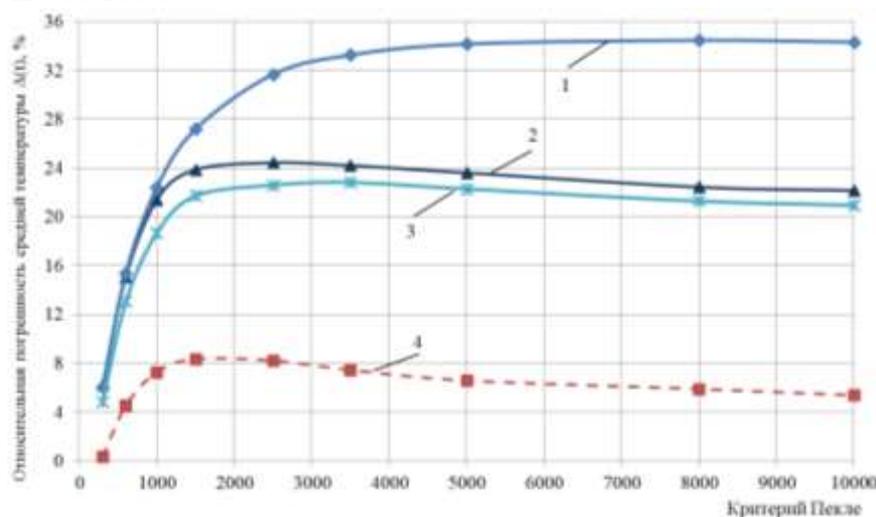


Рис. 1. Погрешность расчёта средней температуры на выходе из трубы: 1 – ANSYS CFX, 2 – FlowVision, 3 – Star-CD, 4 – FlowVision с LMS