

ОТЗЫВ
ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА НА ДИССЕРТАЦИЮ С.А.ФИЛИМОНОВА

Диссертационная работа Филимонова Сергея Анатольевича «Гибридный метод совместного решения многомерных и сетевых задач гидродинамики и теплообмена», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, посвящена, несомненно, весьма актуальной и важной проблеме.

При решении практических задач часто возникают проблемы «стыковки» одномерных и пространственных областей. Например, взаимодействие в устье (эстуарии) рек при впадении реки в озеро или море; взаимодействие помещений и вентиляционных каналов; соединение напорных водоводов с уравнительными резервуарами, нижним или верхним бьефом гидротехнических сооружений, и т.п. Сформулировать для такого «стыка» граничные условия (условия сопряжения), одинаково адекватные как для одномерной стороны, так и для пространственной – весьма сложная насущная задача, при рассмотрении которой имеется ряд «подводных камней» и нерешенных проблем. Решению указанных проблем «стыковки» и построению единого эффективного гибридного «сквозного» алгоритма посвящена работа С.А.Филимонова. Актуальность и практическая значимость этой работы очевидна из вышесказанного.

Работа состоит из Введения, пяти глав и Заключения. Во введении обрисовывается основная тематика работы, формулируется цель работы, новизна излагаемых в работе результатов, обосновывается практическая значимость работы и перечисляются положения, выносимые на защиту.

В главе 1 приводится обзор методов моделирования гидродинамики и теплообмена в объектах, состоящих из «компактных» и протяжённых элементов (по формулировке автора).

При этом, на мой взгляд, автор уделил чрезмерное внимание проблемам моделирования кровеносной системы. Как представляется, эта задача лежит в стороне от магистральных работ автора. Во-первых, текущая субстанция (кровь) является существенно неньютоновской жидкостью со сложной реологией; во-вторых, каналы течения (стенки сосудов) являются достаточно эластичными и активными элементами: могут сужаться (спазмироваться), расширяться, и оказывать значительное влияние на кровоток. Приведённые в работе математические модели и примеры расчётов не относятся к этой сфере исследований.

Глава 2 содержит описание математической модели гидродинамики и теплообмена для построения гибридного метода.

Первые разделы главы 2 посвящены так называемой сетевой модели. Сетевая модель является, скорее, моделью области определения, своеобразным обобщением оси x , а не моделью движения жидкости. Течение жидкости описывается обычными формулами гидравлики, поэтому употребление в данном контексте термина «гидродинамика» не вполне уместно.

Строго говоря, в понятие перепад давления $\Delta p_{общ}$ (см. формулу 2.4) входит и перепад гидростатического давления. Автор рассматривает только плоские сети? Или они могут располагаться пространственно? В последнем случае надо учесть и вертикальные отметки узлов.

Не понятно, зачем автор привлёк громоздкую кубическую интерполяцию Moody (см. формулы 2.11), тогда как формула Альтшуля (2.12) как раз и описывает переходный режим.

Параграф 2.1.3 посвящен постановке тепловой задачи. Следующий параграф (2.1.4) описывает граничные условия. При этом условие на температуру в формуле (2.20) справедливо только в случае поступления жидкости в узел из внешней среды с заданной температурой. В случае излива жидкости наружу температура определяется внутренней задачей.

Следующий раздел 2.2. посвящен описанию пространственных методов. И в этом случае рассматривается стационарное течение, описываемое уравнениям Навье-Стокса. Описываются граничные условия и метод контрольного объёма, применяемый для решения задачи.

Завершается глава описанием сопряжения сетевых (одномерных) и многомерных моделей гидродинамики и теплообмена. Здесь излагается технология объединения пространственных и сетевых моделей.

Глава 3 посвящена тестированию гибридного метода и его реализации. Примеры расчёта демонстрируют устойчивость методики расчёта к погрешностям «стыковки». Погрешности локализуются только на небольшом участке в окрестности зоны стыковки, а далее течение выходит на естественный стационарный режим. Сопоставление тепловых расчётов также показало удовлетворительную степень согласования с расчетами по более детальным методикам и другими данными.

Глава 4 содержит примеры решения практических задач, демонстрирующие широкие возможности предлагаемого гибридного метода и разработанного комплекса программ. Практическую ценность работы подтверждают многочисленные акты о внедрении, приведённые в приложении.

Глава 5 описывает архитектуру разработанного программного комплекса «SigmaFlow» и интеграцию модуля «NetFlow». В главе описываются основные элементы программного комплекса «SigmaFlow» и его архитектура, интеграция программного модуля «NetFlow» в расчётный

модуль «SigmaFlow». Результаты подтверждают, что разработанные программные продукты являются качественным и эффективным инструментом для практического применения.

Работа содержит ряд новых, оригинальных результатов, основанных на сопряжении одномерных и многомерных областей определения. К ним относится концепция «стыковочных ветвей», «гибридный теплообменник» и др. Такой подход позволяет разработать оригинальный численный метод совместного решения задачи с одномерными и многомерными областями, обладающий высокой экономичностью и малыми затратами вычислительных ресурсов по сравнению с многомерными методиками.

Использование этой идеологии позволило разработать высокоэффективный пакет прикладных программ, составляющих достойную конкуренцию известному зарубежному программному обеспечению, например, пакету «Ansys».

По работе можно сделать несколько замечаний.

- 1) Автор используют, на мой взгляд, неточную терминологию, которая затуманивает смысл работы. Разделение объектов исследования на «компактные» и протяжённые элементы не совсем удачно. Если небольшая речка впадает в океан, то, получается, речка – протяжённый элемент, а океан – компактный?
- 2) Термин «разномасштабные» модели тоже не вполне точен. Если в трубопроводной системе имеются длинные и короткие трубы, то это – разномасштабные элементы. А в работе на самом деле речь идёт о стыковке «разноразмерных» элементов – одномерных и пространственных объектов.
- 3) Хотелось бы, чтобы используемые дополнительные гипотезы и/или предположения были сформулированы в явном виде. Сейчас они используются завуалировано, в неявном виде, в частности, например, требование непрерывного поля давления. Зачем непрерывность поля давления на стыковочных узлах? Там может (и должен!) быть скачок: при сужении – падение давления, а при расширении - восстановление! Это явление моделируется в рамках рассматриваемого метода?
- 4) При втекании (например, в водоём) нужно задавать эпюру скоростей, а на выходе из одномерной зоны имеется только средняя скорость! Каким образом появляется нужная эпюра скоростей?

Несмотря на имеющиеся замечания, в целом, диссертационная работа С.А. Филимонова производит хорошее впечатление. Она выполнена на высоком научном уровне; результатом работы является решение важной задачи актуального направления в разработке эффективных и экономичных

