

УДК 532.542

## РАЗВИТИЕ ГИБРИДНОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ СОВМЕСТНОГО РЕШЕНИЯ МНОГОМЕРНЫХ И СЕТЕВЫХ ЗАДАЧ

*Д.В. Бойков<sup>1,2</sup>, А. А Гаврилов<sup>2,3</sup>, А.А. Дектерев<sup>2,3</sup>, С.А. Филимонов<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>ООО "ТОРИНС", Красноярск,*

*<sup>2</sup>Институт Теплофизики СО РАН, Новосибирск,*

*<sup>3</sup>Сибирский Федеральный Университет, Красноярск*

### Введение

На современном этапе развития вычислительных методов существует несколько способов моделирования гидравлических задач. Так если исследуемая система содержит в себе множество протяженных элементов (трубы, каналы и т.д.), то моделирование такой системы возможно в рамках теории гидравлических цепей. При этом для описания параметров элементов сети используется эмпирическая информация. Однако такую информацию не всегда можно получить из эксперимента (долго, дорого, тяжело реализуемо), тогда можно воспользоваться пространственными методами моделирования. Построение пространственной модели всего объекта иногда достаточно сложно или приводит к большим вычислительным затратам. В таких случаях становится целесообразно использовать гибридный подход, позволяющий описывать систему набором элементов гидравлической сети и пространственных элементов.

Ранее был предложен алгоритм, позволяющий совместно решать сетевую и многомерную задачу в рамках одного кода. Он был реализован для ламинарных и двумерных моделей[1]. Для дальнейшего развития алгоритма было принято решение интегрировать его в программный комплекс SigmaFlow [2,3] (универсальный CFD (Computational Fluid Dynamics) пакет программ). Это позволило значительно расширить список возможных задач (возможность решать трехмерные турбулентные задачи).

### **SIMPLE-подобный алгоритм для гибридной модели**

Для включения в программный комплекс sFlow возможности решения гибридных задач использующейся в нем SIMPLE-подобный алгоритм был модифицирован следующим образом:

1. Ищется приближенное значение скорости в пространственной части и расхода в сетевой.
2. Корректируется расход на стыковочных ветвях/гранях по соответствующему расходу в сетевой части.
3. Решается система уравнений на поправку давления в пространственной и сетевой части. Ищем новое значение давления. Определяем значение давления и поправки на интерфейсе на текущей итерации.

4. Коррекция скорости в пространственной части при помощи выражения.
5. Проверка критериев сходимости задачи и, при необходимости, начинается следующая итерация с первого пункта.

### Тестирование алгоритма.

В качестве теста была выбрана задача, представленная на Рис 1. В данной задаче было решено два варианта: полностью пространственный вариант (120 тыс. ячеек) и гибридный вариант (54 тыс. ячеек, 12 узлов и 10 ветвей) на ветвях было задано местное сопротивление [5]. Тест проводился для числа Рейнольдса равного 10000. Особенностью теста является то, что он содержит два пространственных элемента соединённых между собой сетью.

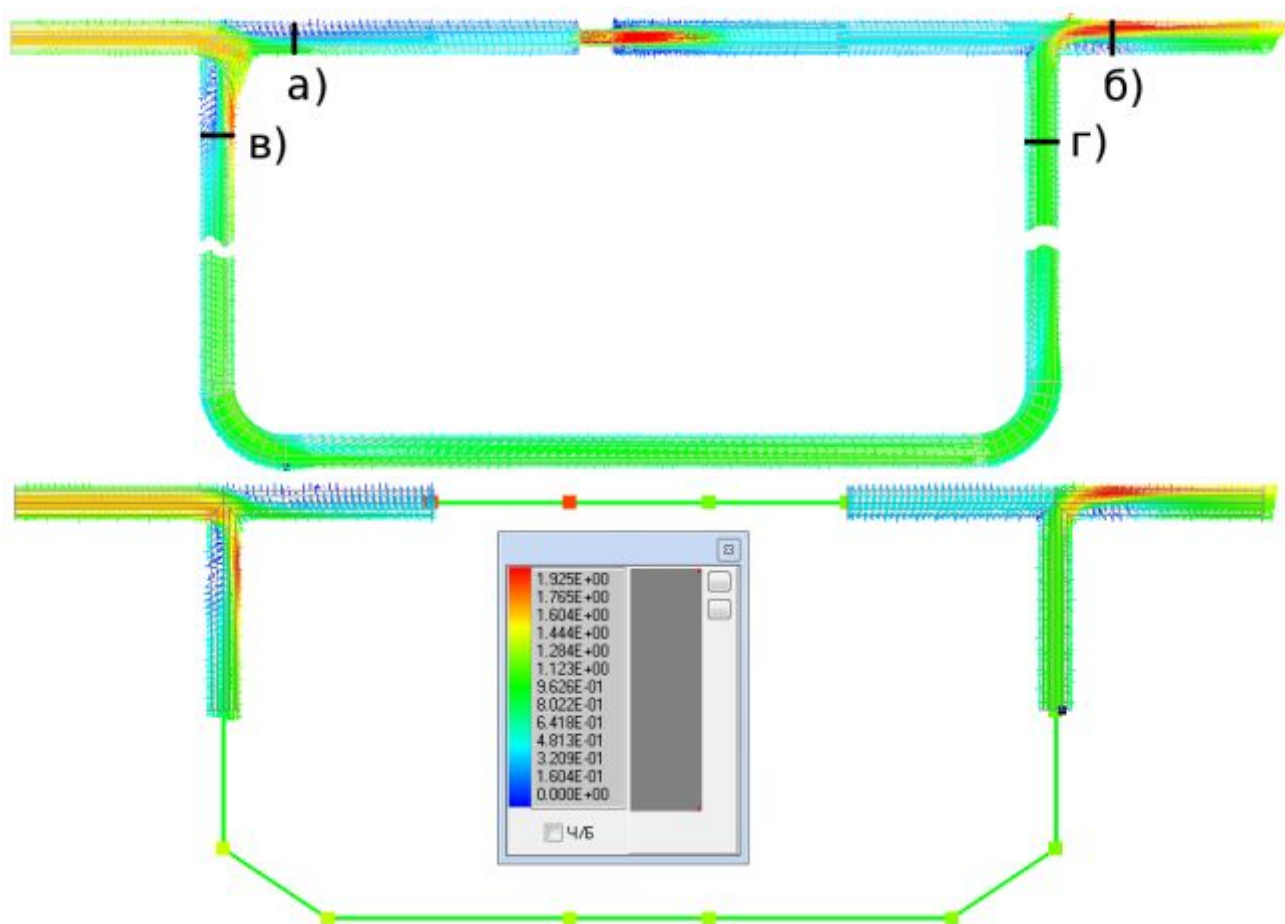


Рисунок 1. Тест: Турбулентное течение через два тройника.

Расходы в каналах здесь совпали с точностью до 1%, общий перепад давления в гибридной и трехмерной задачах различался на 2%. При этом на пережимы в трубах тратилась примерно половина от общей потери давления. Таким образом, можно говорить о приемлемой точности при решении данной задачи гибридным методом. В качестве проверки теста было проведено сравнение по двум каналам и сравнение профилей скоростей в двух сечениях. Результаты сравнения представлены на рис.2.

Как видно из этого рисунка наблюдается расхождение между полем течения в гибридном и полностью трехмерном варианте. Эти отклонения связаны с тем, что длины труб в тестовой задаче недостаточны для восстановления профиля течения. Это приводит к различным профилям скорости (Рис. 2г) и давления в переходных сечениях сеть/пространственная область. В гибридной постановке в сечении имеется развитый турбулентный профиль в трубе, а в полностью трехмерной постановке восстановление профиля не происходит.

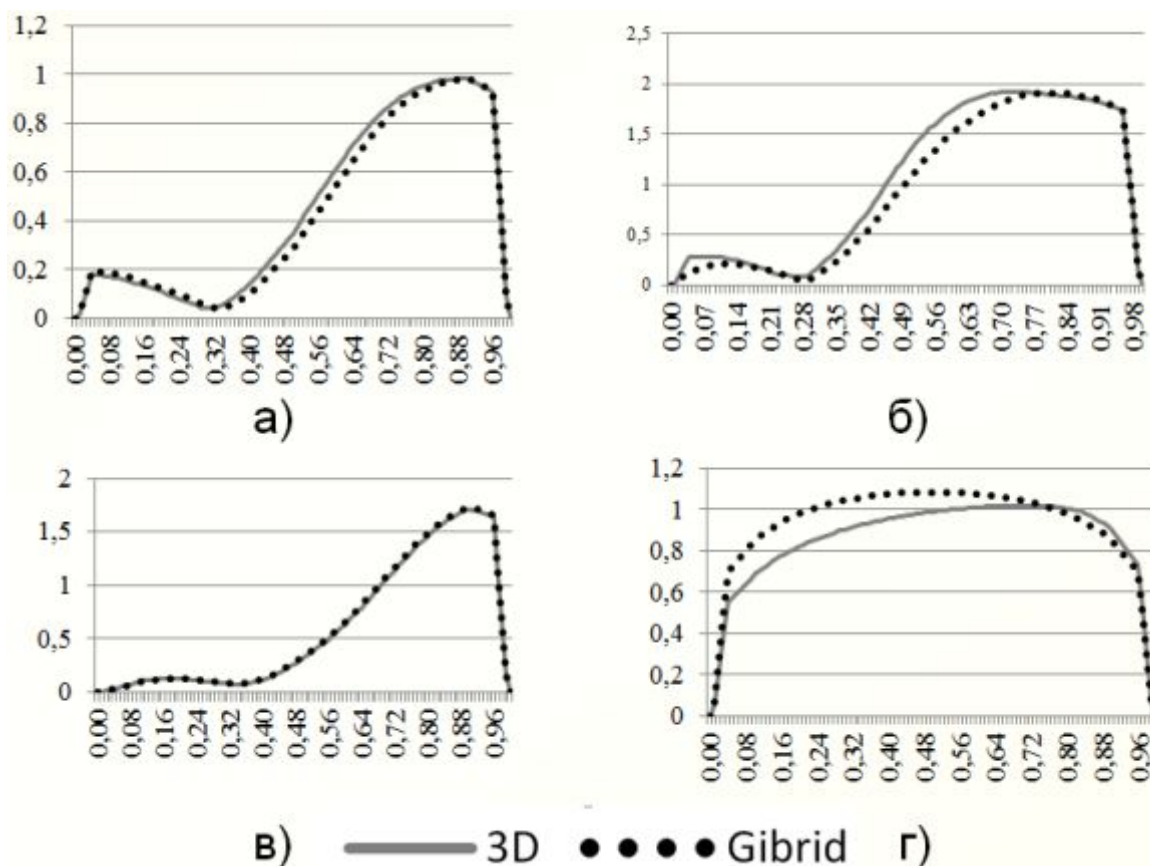


Рисунок 2. Сравнение профиля скоростей в разных сечениях.

### Пример практической задачи.

В качестве примера практической задачи рассматривается система межкорпусных газоходов алюминиевого завода. Она предназначена для удаления вредных газов выходящих из бригад электролизных ванн. Одной из особенностей данной системы является наличие центрального сборного коллектора (рис. 3б), сопротивление которого примерно половина от общего сопротивления системы до газоочистки. Ранее одним из авторов данная задача решалась в предположении, что величина расходов проходящих через сборный коллектор заранее определена. Они задавалась из экспериментальных замеров или исходя из требуемых величин расходов. Это позволяло трехмерную часть посчитать отдельно, а затем результаты расчетов перенести в сетевую модель в виде перепадов давления. Однако для данной задачи такой подход предполагает

правильное решение только в том случае, если расходы в сетевой и пространственных частях совпадают. В связи с вышесказанным гибридный подход в данном случае можно считать целесообразным. Для решения этой задачи была построена гибридная модель (рис. 3а).

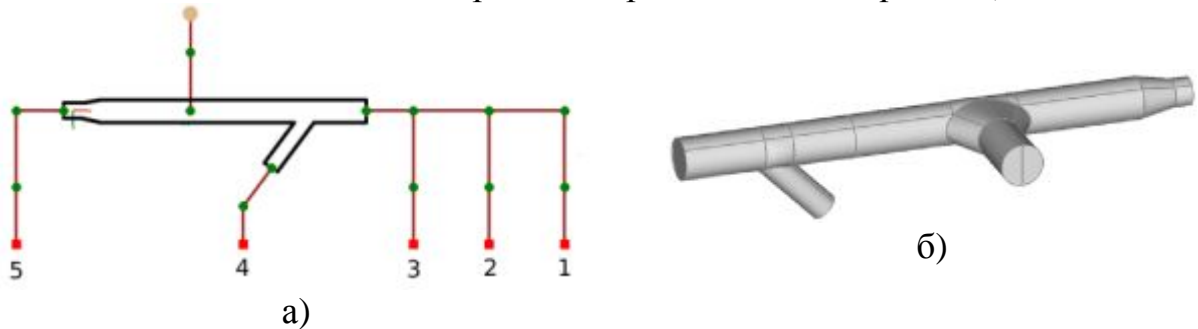


Рисунок. 3 Систем межкорпусных газоходов электролизного цеха  
 а) гибридная модель, б) конструкция сборного коллектора.

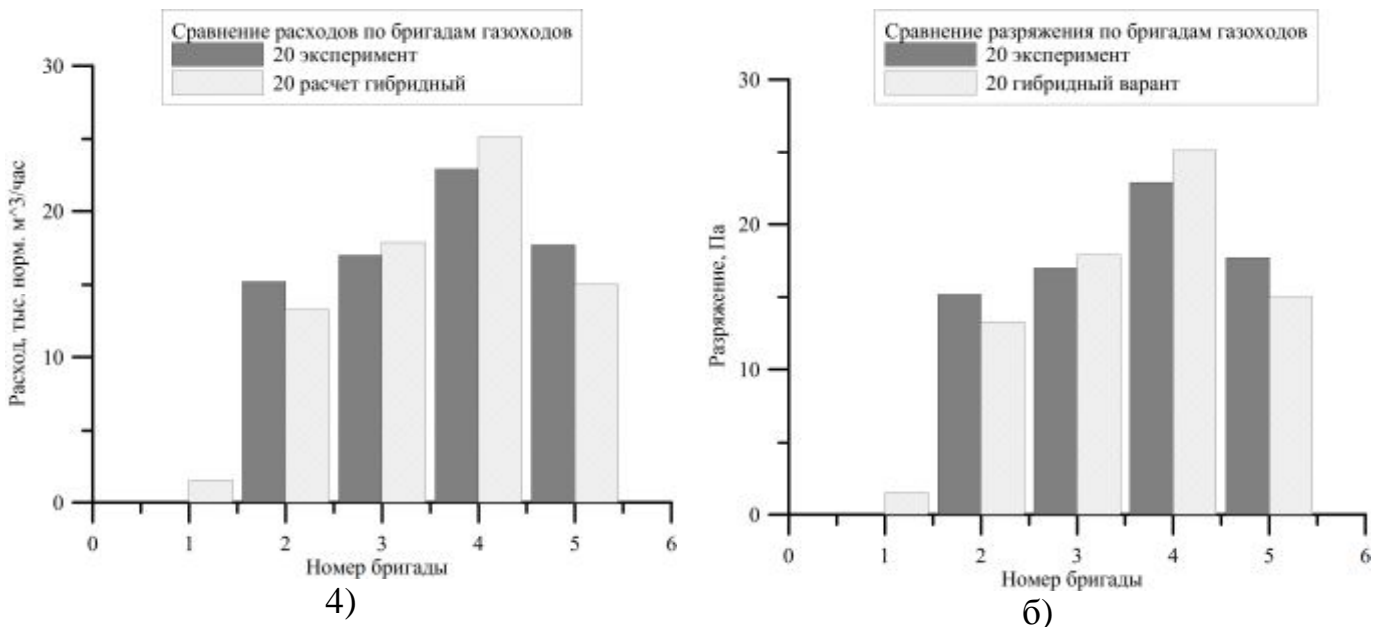


Рисунок 4. Сравнение результатов расчетов с данными экспериментов  
 а) расходы, б) давления  
 1–5. Номера бригад (см. рис. 3а)

Результаты гибридного расчета сравнивались с данными эксперимента (рис. 4) Получено необходимое совпадение по исследуемым величинам для гибридной модели.

### Заключение

Рассматривая описанные выше тесты, приходим к выводу: применение гибридного алгоритма целесообразно при расчете таких задач. Наиболее выгодно представлять в виде сетевых элементов относительно сложные детали конструкции, такие как тройники, гибы и т. д., которые при этом достаточно хорошо изучены для задания на них параметров по известным формулам. Однако при этом необходимо учесть, что длина каналов сетевой части, сопряжённой с пространственной частью, может быть недостаточной, для восстановления профиля течения.

## Литература

1. Филимонов С. А., Бойков Д. В. «Разработка алгоритма для совместного решения многомерных и сетевых задач». Международная конференция. «Современные проблемные прикладной математики и механики: теория, эксперимент и практика,» посвящённая 90-летию со дня рождения академика Н. Н. Яненко, Новосибирск 2011
2. Дектерев А. А., Гаврилов А. А., Харламов Е. Б., Литвинцев К. Ю. Использование программы  $\sigma$ Flow для численного исследования технологических объектов // Вычислительные технологии. Т.8, Ч.1. 2003. Рр. 250–255.
3. А. А. Гаврилов, А.В. Минаков, А. А. Дектерев, В.Я. Рудяк. Численный алгоритм для моделирования ламинарных течений в кольцевом канале с эксцентриситетом. Сибирский журнал индустриальной математики. Октябрь – Декабрь, 2010, Том XIII, №4 (44).
4. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. / С. Патанкар М.: Энергоатомиздат, 1984 – 124с
5. И. Е. Идельчик. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И. Е. Идельчик. Машиностроение 1992и-672