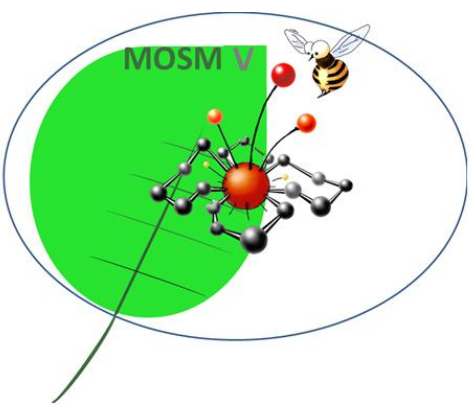


# Применение модели пористой среды в расчетах гидродинамики течения жидкости в насадке контактного аппарата



И. К. Новоселов<sup>1</sup>, С. В. Морданов<sup>1</sup>, А. П. Хомяков<sup>1</sup>, В. А. Никулин<sup>1</sup>, К. В. Костромин<sup>2</sup>, И. Н. Звонков<sup>2</sup>, А. А. Бир<sup>2</sup>, Т.В. Хомякова<sup>1</sup>.  
<sup>1</sup>Уральский Федеральный Университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, 620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19  
<sup>2</sup>АО «СвердНИИХиммаш», 620010, Россия, г. Екатеринбург, ул. Грибоедова, 32

## Введение

Одной из основных проблем моделирования контактного оборудования насадочного типа методами вычислительной гидродинамики (CFD) является большая ресурсоемкость численных расчетов гидродинамики в слое насадки. Использование различных моделей пористой среды позволяет значительно снизить ресурсоемкость задачи путем неявного моделирования гидравлического сопротивления слоя насадки.

Целью работы являлось установление возможности использования неявных моделей пористой среды для численного моделирования гидродинамики двухфазных потоков в слое насадки сложной структуры.

Для моделирования двухфазного потока в объеме насадки использовали модели на основе уравнений Навье-Стокса в многофазной постановке [1], дополненные слагаемыми-источниками количества движения на основе уравнений Дарси-Форхгеймера [2] или модельными источниками количества движения [3], использующими коэффициенты гидравлического сопротивления.

## Применение модели пористой среды

Под модель подходит любая среда с регулярной структурой.

Свойства среды, моделирующей насадок, связаны с рядом усредненных параметров. Это порозность, вязкое и инерционное сопротивление. Порозность среды известна – 87%. Вязкое и инерционное сопротивление определяются опытным путем и нам неизвестны, их значения задавались ориентировочно, исходя из существующих примеров. На первоначальном этапе решения задачи такой подход уместен.

На рисунке 1 приведена расчетная сетка насадка. На входе воды и воздуха задавались скорости поступления соответствующих фаз. Скорости сред задавали исходя из проектной производительности аппарата:

- расход газовой фазы – 300 м<sup>3</sup>/ч;
- расход жидкой фазы – 2...4 м<sup>3</sup>/ч.

Результаты расчетов представлены на рисунке 2, где дано распределение относительной объемной доли фазы воды в относительных единицах.

Как видно из рисунка 2 объемная фаза воды по мере продвижения к нижней части насадка перераспределяется. Происходит концентрация водяной фазы у внешних границ насадка. Данная картина отражает реально происходящий процесс. Также наблюдается концентрация объемной доли фазы воды в центре насадка, что не соответствует действительности.

Для того, чтобы получить адекватную картину течения в насадке, используя модель пористой среды, необходимо провести экспериментальные исследования и систематические расчеты течения в насадке. Цель таких исследований – определить модельные параметры пористой среды и связать эти параметры с геометрией реального насадка.

## Прямое моделирование течения жидкости в насадке

В данном разделе рассмотрен упрощенный вариант моделирования течения жидкости в насадке. За прототип геометрической модели выбрана реальная конструкция насадка фирмы Sulzer Chemtech. Геометрическая модель из двух пакетов насадки представлена на рисунке 3. Здесь показан трехмерный вариант модели, рассчитывался плоский. Пакет набран из гофрированных пластин. Амплитуда гофры 6 мм, а период – 20 мм.

Чтобы исключить момент подбора расхода воды и воздуха для плоской модели насадка решалась задача его опорожнения. Таким образом, в начальный момент времени вода полностью заполняла насадок. Затем под действием силы тяжести вода из насадки начинала стекать вниз. Одновременно противотоком снизу подавался воздух ≈ 300м<sup>3</sup>/ч. В какой-то момент времени в различных частях насадка возникал пленочный режим течения. Необходимо было в результате решения установить профиль распределения фазы воды в зоне контакта с воздухом.

Результаты распределения двух фаз – воды и воздуха для плоского варианта модели насадка представлены на рисунке 4. Из рисунка видно, что фаза воды по мере опорожнения насадка больше концентрируется вблизи стенок обечайки. Это вполне согласуется с общепринятыми представлениями течения жидкости в насадочных колоннах.

В области оси симметрии также наблюдается увеличение концентрации водной фазы по мере продвижения к низу насадки. Данное увеличение связано скорее всего с системной ошибкой расчета, чем недостатками моделей. Элемент расчетной сетки достаточно большой для данной геометрии и его надо уменьшить еще на порядок. Это приводит к еще большему упрощению задачи, за которым уже теряется сам смысл ее решения. Поэтому в предлагаемом варианте решения задачи шивка сетки в области оси симметрии приводит к дополнительной погрешности расчета. Следствием этого является перераспределение жидкой фазы.

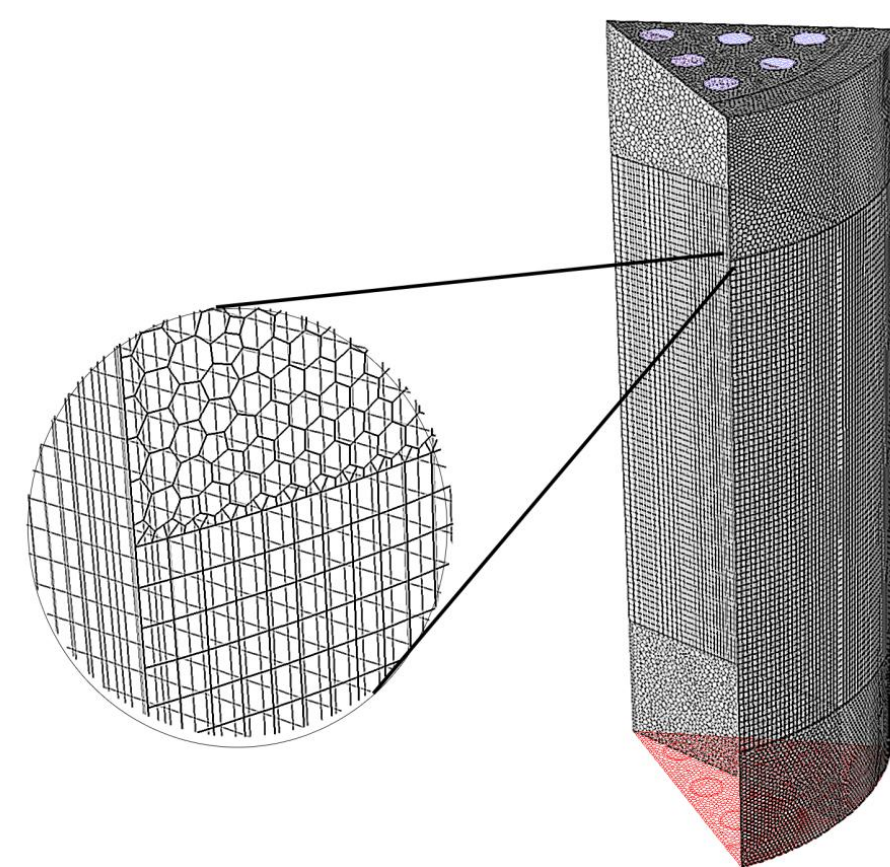


Рисунок 1. Расчетная сетка насадка

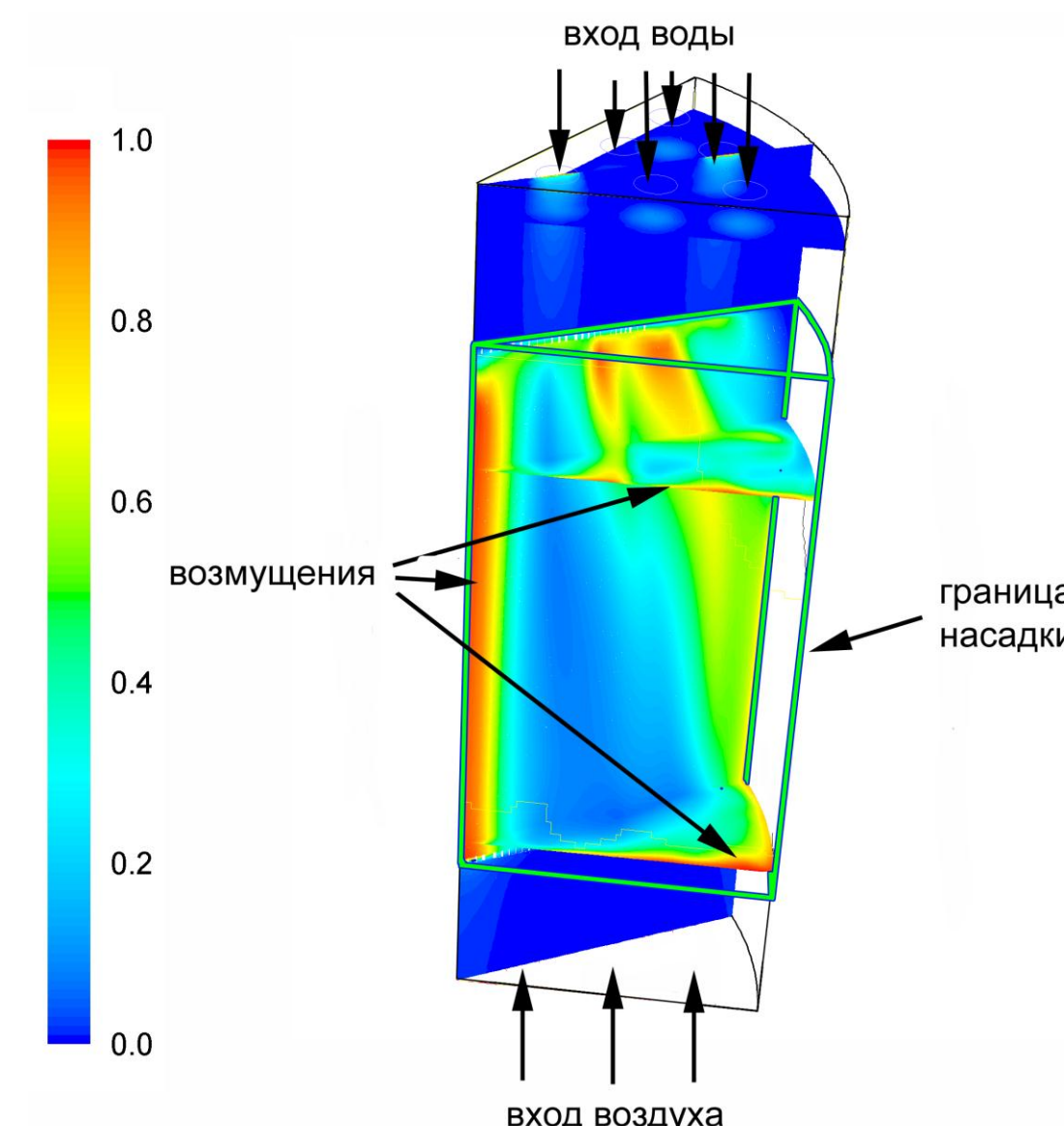


Рисунок 2. Результаты расчета

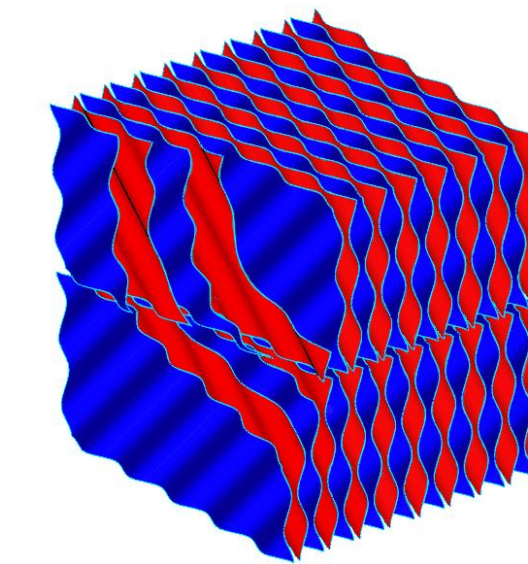


Рисунок 3. Геометрическая модель

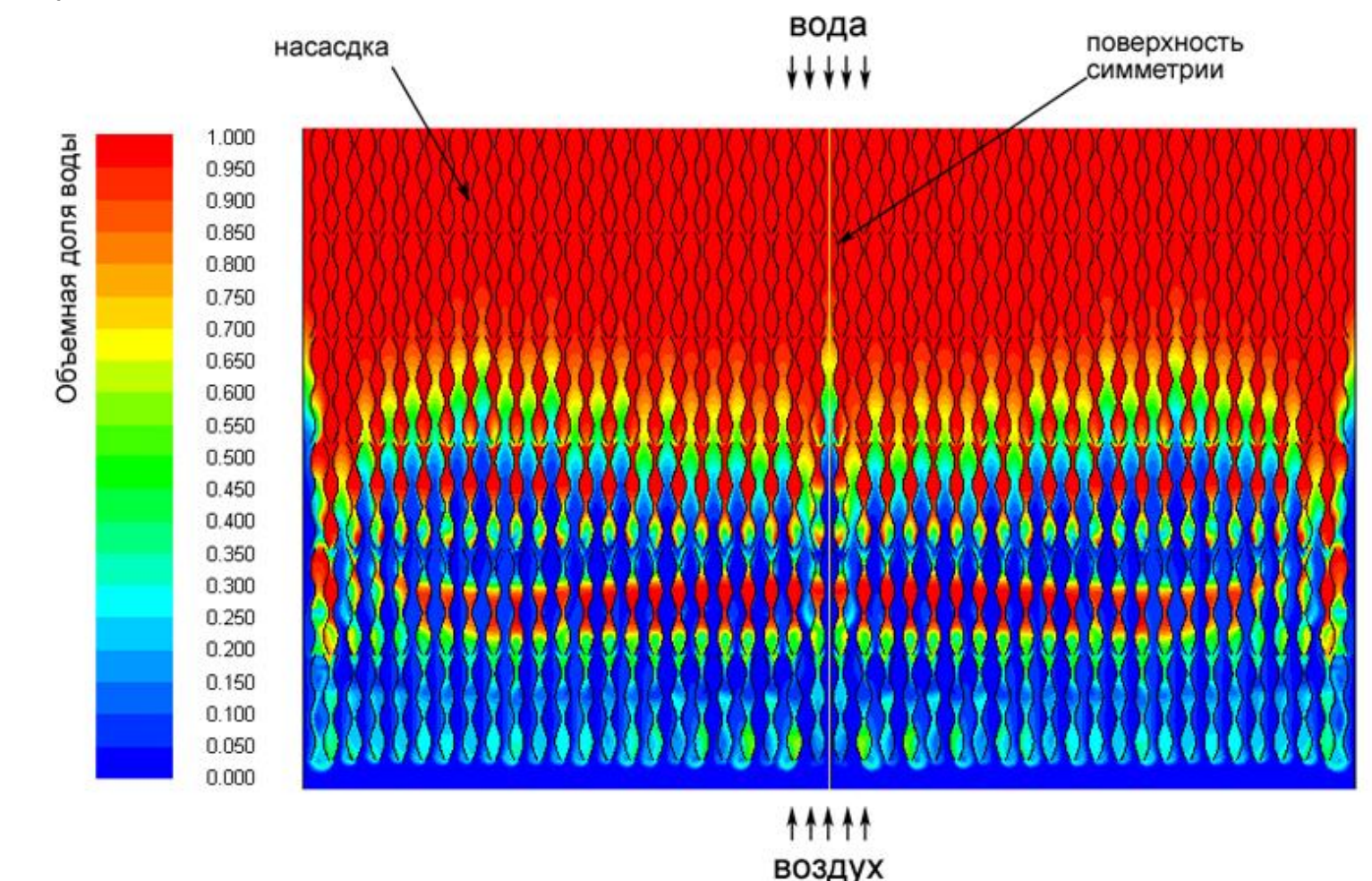


Рисунок 4. Результаты расчета

## Заключение

В данной работе рассмотрен процесс движения жидкости и газа в насадке. Задача моделирования решалась двумя способами. Первый – использование модели пористой среды. Второй – прямое моделирование течения жидкости в насадке.

Первый способ позволяет промоделировать насадку в трехмерной геометрии, используя усредненные параметры среды. Из-за небольшой ресурсоемкости модель пористой среды позволяет промоделировать течение жидкости на значительном участке контактного аппарата с учетом перераспределения потоков между пакетами. Однако для реализации этой модели надо знать модельные параметры, характеризующие инерционное и вязкое сопротивления среды насадки. Модельные параметры можно определить только опытным путем.

Второй способ по сравнению с первым более ресурсоемкий. Но он позволяет напрямую воспроизвести динамику течения для конкретной геометрии насадка.

В ходе работы установлена возможность использования неявных моделей пористой среды для численного моделирования гидродинамики двухфазных потоков в слое насадки сложной структуры.

## Библиографический список

1. Manninen M. On the mixture model for multiphase flow / M. Manninen, V. Taivassalo and S. Kallio. – Espoo : VTT Publications 288, 1996. – 67 p.
2. Soulaire C. On the use of a Darcy-Forchheimer like model for a macro-scale description of turbulence in porous media and its application to structured packings / C. Soulaire, M. Quintard // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2014 – Vol.74 – P.88-100.
3. Investigation of hydrodynamics of motion of solutions in sorption pressure columns / A. S. Lavrov, A. P. Khomyakov, S. S. Petsura and S. V. Mordanov // AIP Conference Proceeding – 2017 – Vol. 1886 – P.020087-1-020087-7.