

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Косьянчука Василия Викторовича
на тему: «Многомасштабное моделирование течений газа в
разделительных устройствах и мембранах»
по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы»

Актуальность работы

В представленной диссертации проведен большой объем численных исследований эффекта разделения газов в микроканалах (мембранах) с подвижными границами. Актуальность исследования связана с важностью процесса разделения во многих современных технологиях. Несмотря на существование проверенных методов разделения, постоянно ведется поиск более эффективных и менее энергозатратных подходов. Использование эффектов, проявляющихся при больших числах Кнудсена, является относительно новым подходом. Помимо этого, развитие методов решения задач разреженного газа в подвижных границах само по себе является актуальной задачей численного моделирования течения газа.

Основными новыми научными результатами, представленными в диссертации, являются:

1. Результаты численного моделирования свободномолекулярного течения газа через канал (мембрану), которая колеблется с высокой частотой. Показана теоретическая возможность разделения газов за счет таких колебаний.
2. Результаты численного моделирования свободномолекулярного течения газа через неподвижный канал (мембрану), стенки которого

движутся по заданному закону. Рассмотрено несколько вариантов задания закона движения, показано наличие эффекта разделения газов.

3. Предложен гибридный метод моделирования течений смеси разреженных газов, основанный на стыковке кинетической области, решение в которой строится с помощью метода ПСМ, и континуальной области, в которой решаются уравнения газовой динамики. С помощью данного метода решена задача моделирования течения в реальном устройстве. Получены результаты, согласующиеся с имеющимися экспериментальными данными.

Достоверность представленных в диссертации результатов обосновывается сравнением с экспериментальными данными и известными аналитическими решениями для неподвижных каналов.

Практическая значимость работы. Результаты работы имеют существенную научную и техническую значимость, представляя влияние ключевых факторов на нормированную вероятность прохождения и коэффициент разделения бинарной смеси газов. Также ценно, что в работе представлены различные конфигурации, показывающие возможные технические решения. Глава 4 представляет решение полноценной научно-технической задачи моделирования газоразделительного устройства, прототип которого исследовался экспериментально.

Замечания Работа не лишена ряда недостатков. Основные замечания перечислены ниже:

1. Для колеблющихся мембран постановки задач значительно усечены без оценки влияния упрощений на результаты. Это относится к предположению о свободномолекулярном режиме течения в порах мембраны, ограничению рассмотрения только пор мембраны без учета концевых эффектов и, более широко, взаимодействия пор с резервуаром. В частности, в ряде работ Когана, Ерофеева, Фридлендера (Ерофеев А.И., Коган М.Н., Фридлендер О.Г. Квазиравновесный граничный кнудсеновский слой на неизотермическом пористом теле // Изв. РАН. МЖГ. 2010. № 1. С. 152-167.) рассматриваются кнудсеновские слои на поверхности мембран. Влияние концевых эффектов исследовалось численно в работах сотрудников ВЦ РАН (ФИЦ ИУ РАН) Е.М. Шахова и В.А. Титарева (В.А. Титарев, Е.М. Шахов. Концевые эффекты при истечении разреженного газа через длинную трубу в вакуум // Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2013. N 5. С. 146-158.). Однако следует отметить, что расчет течения с подвижными границами при конечных числах Кнудсена представляет собой гораздо более сложную с вычислительной точки зрения задачу, решение которой может выходить за рамки кандидатской работы.

2. При рассмотрении колеблющихся и изгибающихся мембран следует дать физическое объяснение оптимальным по амплитуде колебания режимам. Наиболее интересный практически случай неизотермической мембраны в главе 4 требует детального анализа вклада градиентов температуры, давления и концентрации, см. некоторые аспекты такого анализа в работе Фридлендера, Никольского, Воронича (Friedlander Oscar, Nikolskiy Yuriy, Voronich Ivan. Gas flows through double-layer membrane of thermomolecular pump // RGD29. AIP Conference Proceedings 1628, 841 (2014). Данная задача подчеркивает значимость постановки граничных

условий сопряжения на поверхности кнудсеновского слоя вблизи поверхности мембраны.

3. На странице 44 автор приводит обобщение ядра Максвелла, предложенное в работе S. Kokou Dadzie and J. Gilbert Méolans. Anisotropic scattering kernel: Generalized and modified Maxwell boundary conditions // Journal of Mathematical Physics 45, 1804 (2004); но почему-то приписывает его другому автору (Ямамото, [109] в тексте). Ссылка на статью [85] в тексте неверная – в числе авторов нет Ямамото.

4. В уравнении 4.2.16 вводится “коэффициент запаса” C . Правильное название этого коэффициента - число Куранта (или число Куранта-Фридрихса-Леви). Непонятно, почему принято значение $C=0.3$, для двухмерных течений, как правило, $C<0.5$. Увеличение значения C приводит к росту эффективности счета.

В целом, перечисленные недостатки не снижают научной ценности работы в целом. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Косьянчук Василий Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-

математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Официальный оппонент:

В.Т.

Доктор физико-математических наук,

Ведущий научный сотрудник отдела 24 «Механика»

Федеральное государственное учреждение «Федеральный
исследовательский центр «Информатика и управление» Российской
академии наук»

ТИТАРЕВ Владимир Александрович

03.09.2019

Контактные данные: тел.: 7(499)1350440, e-mail: titarev@ccas.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и
комплексы программ»

Адрес места работы: 119333, Россия, г. Москва, ул. Вавилова, д. 40
Федеральное государственное учреждение «Федеральный
исследовательский центр «Информатика и управление» Российской
академии наук»

Тел.: 7(499)1350440; e-mail: titarev@ccas.ru

Подпись В.А. Титарева удостоверяю

03.09.2019

