

Отзыв официального оппонента о диссертации
Шефера Ильи Александровича
«Устойчивость двухслойных течений в горизонтальном канале
при диффузионном испарении» на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9
Механика жидкости, газа и плазмы

Диссертация И.А. Шефера посвящена актуальной теме, вызванной потребностью изучить устойчивость двухслойных течений в горизонтальном канале при наличии температурных и динамических воздействий на систему. Такие течения используются при создании эффективных способов охлаждения и термостабилизации в микроэлектронике, они могут найти применение при разработке бортовых космических систем. Работ, посвященных устойчивости двухслойных течений при диффузионном испарении, имеется очень немного (укажем статьи [117], [118] из списка литературы в диссертации). До сих пор не была выявлена роль трехмерных возмущений в этой задаче и не был учтен фактор деформируемости поверхности раздела «жидкость – газ».

Все результаты, полученные в диссертации, являются новыми. Отметим далеко идущее обобщение решения Остроумова-Бириха на случай двухфазных течений с неоднородным режимом испарения на межфазной границе. В таком решении имеется семь критериев подобия, что позволяет описать множество задач испарительной конвекции, различающихся типом краевых условий. Это дает возможность выделить из них постановки, в которых удастся достичь качественное, а иногда и количественное согласование экспериментальных и теоретических данных. На основе полученного точного решения в разделе 2.7 дано существенное расширение классификации Наполитано типов течений в двухфазной системе за счет отказа о предположении равенства продольных градиентов температуры в жидкой и газовой фазах.

В главе 3 исследована устойчивость двухслойных течений с однородным испарением относительно плоских возмущений. Исследование выполнено с исчерпывающей полнотой. Учтено влияние кинематических характеристик газового потока, поперечного перепада температуры, баланса гравитационных и термокапиллярных сил, отношения толщин слоев жидкости и газа. Найдено, что неустойчивость имеет преимущественно колебательный характер. На рис. 23, 26, 29, 30 показана перестройка полей скорости и температуры и форм наиболее опасных возмущений в зависимости от изменения характеристик основного течения.

В классической теории гидродинамической устойчивости при анализе устойчивости однонаправленных течений таких, как плоское течение Куэтта

или Пуазейля, достаточно ограничиться плоскими возмущениями вследствие теоремы Сквайра. Если основное течение является неизотермическим или в жидкости имеется пассивная примесь, преобразование Сквайра не работает, поскольку температура и концентрация являются скалярными функциями. Именно такая ситуация рассматривается в диссертации. Этому посвящена 4-я глава диссертации. Оказалось, что для большинства возможных конфигураций основного течения пространственные возмущения наиболее опасны. При этом возникающие возмущения могут иметь форму поперечных валов, продольных ячеистых структур и их взаимодействия. Этот вывод согласуется с данными экспериментов [50], [58].

Еще один фактор, который не был учтен в работах других авторов при анализе устойчивости двухслойных течений с испарением на границе раздела, является деформируемость этой границы. В диссертации показано, что этот фактор играет стабилизирующую роль. Обнаружено, что в системе с тонким жидким слоем наиболее опасными являются плоские возмущения. Однако при увеличении толщины жидкого слоя ситуация меняется: самыми опасными становятся трехмерные возмущения. Этот сценарий нашел экспериментальное подтверждение в работе [58].

Выше перечислена лишь часть результатов, полученных в диссертации. Это результаты имеют теоретическое значение, поскольку расширяют наши представления о типичных режимах испарительной конвекции в двухслойной системе и механизмах потери устойчивости стационарных течений в такой системе. Практическое значение результатов диссертации состоит в способе определения параметров Сорэ и Дюфура путем сравнения экспериментальных данных с найденными точными решениями. Результаты диссертации могут использоваться при планировании новых экспериментов с целью отыскания режимов течений в микроканалах, обеспечивающих их устойчивость.

Достоверность результатов диссертации гарантируется использованием строгих математических методов теории конвекции и хорошо апробированных способов численного решения возникающих задач. Полученные результаты прошли широкую апробацию в процессе участия автора в международных и всероссийских конференциях, начиная с 2015 г. Они докладывались на шести семинарах в Красноярске, Новосибирске и Перми.

Диссертация хорошо оформлена, она содержит богатый графический материал. Список цитируемой литературы, имеющий 150 наименований, представляет самостоятельную ценность. По теме диссертации опубликовано 8 статей в четырех ведущих российских и одном международном научном журналах, 2 публикации сделаны индивидуально. Автореферат диссертации адекватно отражает ее содержание.

В качестве замечания по диссертации следует отметить, что даже при условии идеальной абсорбции пара на верхней границе полученное точное решение игнорирует уменьшение толщины жидкого слоя и, строго говоря, не может считаться стационарным. Было бы полезно привести соответствующие оценки. Также было бы желательно сформулировать условия, гарантирующие нахождение концентрации пара в физически допустимых пределах от 0 до 1 в терминах входных данных задачи. Еще хотелось бы порекомендовать автору ознакомиться со статьей «В.В. Пухначев. Нестационарные аналоги решения Бириха. Известия АлтГУ. 2011. № 1/2. С. 62–69». Можно ожидать, что подобное решение существует и в случае двухфазных течений в горизонтальном канале.

В заключение отметим, что в диссертации И.А. Шефера содержится решение актуальной научной задачи об устойчивости двухслойных течений в горизонтальном канале при диффузионном испарении, которая имеет важное значение для развития теории гидродинамической устойчивости. Диссертация удовлетворяет всем необходимым требованиям, а ее автор вполне заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 «Механика жидкости, газа и плазмы»

Доктор физико-математических наук (01.02.05 -
Механика жидкости, газа и плазмы), профессор,
член-корреспондент РАН,

главный научный сотрудник лаборатории
прикладной и вычислительной гидродинамики

ФБГУН Института гидродинамики им.

М.А. Лаврентьева СО РАН

5 мая 2023 г.

Пухначев Владислав Васильевич

Подпись В.В. Пухначева заверяю
Ученый секретарь ИГиЛ СО РАН к.ф.-м.н.



А.К. Хе

05.05.2023

Новосибирск, 630090, проспект академика Лаврентьева, 15,

Телефон (383) 333 18 19,

Адрес электронной почты: pukhnachev@gmail.com

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

«Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН»

Я, Пухначев Владислав Васильевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации И.А. Шефера, и их дальнейшую обработку.