

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Городнова Анатолия Олеговича на тему «Моделирование тепломассообмена при бездренажном хранении криогенных топлив», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы»

Прогнозирование теплового состояния баковых систем хранения криогенных жидкостей представляет интерес для разработки перспективных изделий ракетной техники. Ввиду невозможности воспроизвести условия микрогравитации при длительных наземных испытаниях, а также из-за влияния масштабного фактора, первостепенное значение приобретает использование методов математического моделирования на основе численного интегрирования уравнений свободно-конвективного течения и сопряженного тепломассопереноса применительно к устройствам хранения криогенных топлив. Таким образом, тема диссертации является актуальной.

В работе представлена замкнутая физико-математическая модель свободно-конвективного ламинарного течения и тепломассопереноса в криогенном баке, включая процессы испарения-конденсации на границе раздела фаз и теплоперенос по стенкам бака, с учетом зависимости свойств рабочей среды от температуры. Задача решается в осесимметричной постановке. Представлены результаты применения разработанной модели для расчета тепломассопереноса в парах водорода и азота на ряде модельных задач. Проанализирована применимость уравнения состояния совершенного газа для описания теплообмена в паре. Продемонстрированы отличия между конвективными течениями при значительных и малых относительных перепадах температуры. Показано существенное влияние теплопереноса по стенкам бака на интенсивность тепломассообмена в паровой подушке и скорость роста давления в баке. Проведено сопоставление рассчитанных полей температуры и кривых роста давления с результатами измерений. Достигнутое удовлетворительное согласие расчетных и экспериментальных данных косвенно свидетельствует об адекватности разработанной модели и достоверности полученных на ее основе результатов.

По содержанию автореферата возникли имеются ряд вопросов и замечаний.

1) Нечетко отражен вклад автора в программную реализацию предложенной математической модели. Если автор претендует, в том числе, и на разработку программного кода для расчета тепломассопереноса в баке, создание такого инструмента следовало бы отразить в практической значимости работы.

2) Неясно, проводилось ли тестирование кода в части моделирования нестационарной конвекции, в том числе при наличии испарения-конденсации и/или сопряженного теплообмена. Результаты тестирования показаны только для стационарной конвекции газа в квадратной полости с разогретыми боковыми стенками.

3) Отсутствуют данные о типичных расчетных сетках и шагах по времени. В частности, данные Рис.12,д оставляют сомнения в достаточности использованной сетки для аккуратного разрешения восходящей пристенной струи и, соответственно, для адекватного предсказания теплообмена на стенке.

4) При представлении результатов расчета автор не уделяет должного внимания интерпретации полученных закономерностей. В частности,

– Данные Таблицы 3 свидетельствуют о крайне слабом влиянии числа Рэлея на итоговое давление в баке (в пределах 2% при изменении Ra от 0 до 10^8). По крайней мере, на первый взгляд, это значит, что даже при $Ra=10^8$ теплоперенос в исследуемом криогенном баке почти не зависит от конвекции и определяется, главным образом, теплопроводностью. Требуется объяснение столь неожиданного результата.

– Судя по Рис.10.а, изменение толщины стенки существенно влияет не только на скорость роста давления в баке, но и на его итоговое значение. Комментарий автора о том, что «значительная часть тепла расходуется на нагрев стенки», не объясняет данный эффект. Каков же механизм влияния стенки на установившееся тепловое состояние бака?

Отдел документационного
обеспечения МАИ

11.05.2021 г.

– Согласно Рис.17, включение подогрева бака снизу (т.е. увеличение суммарного теплоподвода на 20%) практически не влияет на скорость роста давления. Неясно, куда же уходит дополнительное тепло?

5) В автореферате имеется ряд опечаток и нестыковок. В частности, числа Рэля Ra и Ra_d записаны неаккуратно; не определены параметры B , Fi , H , Fo ; параллельно используются разные обозначения одной и той же величины ($d=\delta$, $t=Fo$); в задаче о нагреве паров водорода (Рис.9) задан показатель адиабаты одноатомного газа.

Высказанные замечания не затрагивают существа работы, которая представляет собой актуальное исследование по проблеме гидродинамики криогенных систем. Полученные в работе результаты вносят определенный вклад в понимание основных процессов, влияющих на работу устройств бездренажного хранения криогенных жидкостей, и могут быть полезны при разработке и/или оптимизации таких устройств. Результаты исследования опубликованы в трех рецензируемых изданиях из Перечня ВАК и прошли апробацию на нескольких российских конференциях и семинарах.

На основании сказанного считаем, что диссертация Городнова Анатолия Олеговича на тему «Моделирование тепломассообмена при бездренажном хранении криогенных топлив» удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

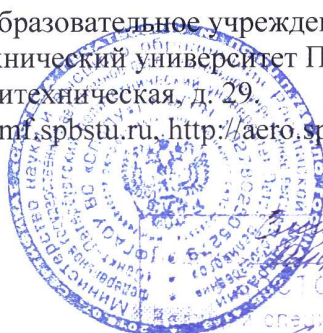
Смирнов Евгений Михайлович,

доктор физико-математических наук, профессор,
профессор Высшей школы прикладной математики и
вычислительной физики СПбПУ, главный научный
сотрудник НИЛ гидроаэродинамики ИПММ СПбПУ

Зайцев Дмитрий Кириллович,

доктор физико-математических наук, доцент,
профессор Высшей школы прикладной математики и
вычислительной физики СПбПУ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,
Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.
ВШ ПМиВФ. Тел. +7(812)2972419, aero@phmf.spbstu.ru, <http://aero.spbstu.ru>.



Городнова А.О.
Зайцева Д.К.
специалист
по вопросам
"29" 04 2021 г.