

УДК 532.529.6

## Численное моделирование парожидкостной сепарации воды и кислорода в условиях микрогравитации

Кукшинов Николай Владимирович<sup>(\*)</sup>kukshinov@bmstu.ru  
SPIN-код: 2236-6940

Евстигнеева Варвара Евгеньевна

yevstigneeva@bmstu.ru  
SPIN-код: 4226-7628

Подчуфаров Алексей Алексеевич

podchufarov@bmstu.ru  
SPIN-код: 8824-0194

Ганцев Андрей Алексеевич

agantsev@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

**Аннотация.** Приведены результаты трехмерного численного моделирования парожидкостной сепарации воды и кислорода во вращающемся сферическом сосуде. Определено время сепарации в зависимости от угловой скорости вращения при заданной оси вращения и от начальной доли пара. Моделирование было выполнено с использованием подхода VOF (Volume of Fluid).

**Ключевые слова:** парожидкостная сепарация, микрогравитация, численное моделирование

**Введение.** Технологии хранения и перекачки топлива в космическом пространстве играют важную роль в осуществлении различных миссий, в частности лунной программы. Наличие находящейся на орбите станции заправки космических аппаратов позволяет снижать массу выводимой на орбиту полезной нагрузки. В качестве одного из компонентов топлива может выступать жидкий кислород. При транспортировке и длительном хранении на орбите часть жидкостного кислорода может испариться, что приводит к необходимости обеспечить сепарацию парожидкостной смеси для осуществления сброса пара в космическое пространство и обеспечения перекачки жидкого кислорода. В рамках проекта SPHERES-Slosh на Международной космической станции были проведены эксперименты по разделению жидкой воды и водяного пара [1, 2]. В экспериментах сепарация осуществляется за счет вращения бака. В работе [3] выполнено численное моделирование процесса сепарации, проведено сравнение формы поверхности раздела фаз в различные моменты времени с экспериментальными данными.

**Методы и материалы; результаты.** В настоящей работе проведено численное моделирование парожидкостной сепарации воды и кислорода в сферическом сосуде при различных угловых скоростях и начальном паросодержании. При моделировании решались осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье — Стокса, для взаимодействия фаз использовалась модель VOF, вращение сосуда осуществлялось с помощью метода Frame motion — уравнения движения решаются в подвижной системе координат, но сама сетка остается неподвижной. Свойства жидкого и газообразного кислорода, жидкой воды

и водяного пара задавались постоянными. Определено время полной сепарации жидкости и пара для каждого рассмотренного варианта, построены зависимости времени сепарации от начального паросодержания и скорости вращения сосуда.

**Заключение.** Разработанная математическая модель динамики воды и жидкого кислорода в условиях микрогравитации может быть использована для прогнозирования поведения рабочего тела внутри бака окислителя, находящегося на орбите Земли и совершающего вращение вокруг поперечной оси орбитальной системы.

*Работа выполнена при поддержке Министерства науки  
и высшего образования Российской Федерации  
по государственному заданию (проект № FSN-2025-0018).*

#### **Список источников**

- [1] Storey J.M., Kirk D.R., Gutierrez H.M., Schallhorn P., Marsell B. The ISS SPHERES-Slosh Experiment: Slosh Data Acquisition and Analysis. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 2025, pp. 1–10. <https://doi.org/10.2514/1.A36077>
- [2] Lapilli G., Hollicker C., Gutierrez H., Kirk D. Design of a liquid sloshing experiment to operation in the International Space Station. *AIAA Joint Propulsion Conference Paper*, 2015, pp. 1–10. <https://doi.org/10.2514/6.2015-4074>
- [3] Storey J., Kirk D., Marsell B., Schallhorn P. Progress towards a Microgravity CFD Validation Study using the ISS SPHERES-SLOSH Experiment. *AIAA Technical Paper*, 2020, no. 2020-3814, pp. 1–10. <https://doi.org/10.2514/6.2020-3814>