

УДК 534.1:532.529/.582

К анализу динамики и устойчивости движения трехфазной системы академика В.Н. Челомея

Грибков Владимир Арсеньевич^(*)

zenit-ab@mail.ru

Камолов Матвей Сергеевич

mathewkamolov@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Проанализированы известные публикации по динамике и устойчивости движения трехфазной системы, представленной академиком В.Н. Челомеем в статье 1983 г. Под трехфазной системой понимается динамическая система, содержащая абсолютно твердое тело (трубку) с цилиндрической полостью, частично заполненной пузырьковой жидкостью (вода с пузырьками воздуха) и находящимся в полости телом сферической формы (из оргстекла). Наибольшее внимание в представляемом докладе уделено адекватности использованных в статьях математических моделей материальному объекту (физической модели) из опытов В.Н. Челомея. Показано, что математическая модель трехфазной системы Челомея, обеспечивающая наблюдаемые в опыте эффекты, до настоящего времени не найдена.

Ключевые слова: опыты Челомея, теория динамических систем, динамика и устойчивость многофазных сред, параметрические эффекты, аperiodические процессы

Введение. Одним из неожиданных и эффектных результатов, обнаруженных экспериментальным путем академиком В.Н. Челомеем, является подъем под действием вибрации погруженного в пузырьковую жидкость тяжелого шара (с плотностью большей плотности жидкости), находящегося в вертикально стоящей трубке [1, 2]. До настоящего времени не удалось объяснить физическую природу этого явления, предложить адекватную математическую модель. Данная работа посвящена анализу и систематизации существующих подходов к задаче «трехфазная система Челомея».

Методы и материалы; результаты. Вероятно, первым в середине 50-х гг. рассмотрел динамику однонаправленного движения единичного пузырька в вибрирующей жидкости Н.Н. Bleich [3]. В наше время задачами динамики пузырьков в вибрирующей жидкости занимался И.И. Блехман с соавторами. В частности [4], ими предложено объяснение неустойчивости и погружения пузырьков, выведено условие всплывания частиц, более плотных, чем вода, а также условие возникновения асинхронно возбуждаемых автоколебаний в трехфазной системе. Уравнение движения частицы заданной плотности составляется с учетом присоединенной массы жидкости. Дифференциальное уравнение движения частицы в вибрирующей жидкости решается аналитическим методом прямого разделения движений.

В работах В.Л. Сенницкого (персональных и соавторами) [5] решена задача движения однородного твердого шара в идеальной несжимаемой жидко-

сти в сосуде, совершающем колебания в вертикальном направлении. Через представления движения в виде суммы двух составляющих: медленно меняющейся и малой быстро меняющейся с последующим усреднением получено выражение для силы, действующей на шар. Разделение колебаний жидкости на однородные и неоднородные позволило перейти к новому качественному анализу движения включения в вибрирующей жидкости. Введена количественная мера неоднородности и решена более общая задача движения включения произвольной плотности.

К теме исследования относятся работы В.В. Болотина, С.С. Григоряна, А.В. Петровского, В.Б. Федосеева, В.С. Федотовского и др. Отметим также статьи, уточняющие математическую модель движения частиц в жидкости с учетом последних экспериментальных результатов с применением численного моделирования динамических процессов [6].

Заключение. Полноценное исследование поведения трехфазной системы Челомей с получением качественно новых результатов может быть выполнено, в первую очередь, с помощью численных методов теории динамических систем.

Список источников

- [1] Челомей В.Н. Парадоксы в механике, вызываемые вибрациями. *Доклады АН СССР*, 1983, т. 270, № 1, с. 62–67.
- [2] Богатов Е.М., Мухин Р.Р. Метод усреднения, маятник с вибрирующим подвесом. *Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика*, 2017, т. 25, № 5, с. 69–87.
- [3] Bleich H.H. Effect of vibrations on the motion of small gas bubbles in a liquid. *Journal of Jet Propulsion*, 1956, vol. 26, no. 11, pp. 958–964. <https://doi.org/10.2514/8.8926>
- [4] Блехман И.И., Блехман Л.И., Вайсберг Л.А. «Аномальные» явления в жидкости при действии вибрации. *Доклады Академии наук*, 2008, т. 422, № 4, с. 470–474.
- [5] Луговцов Б.А., Сенницкий В. Л. О движении тела в вибрирующей жидкости. *Доклады АН СССР*, 1986, т. 289, № 2, с. 314–317.
- [6] Lappa M. The patterning behaviour and accumulation of spherical particles in a vibrated non-isothermal liquid. *Physics of Fluids*, 2014, vol. 26, no. 9, art. no. 093301. <https://doi.org/10.1063/1.4893078>