



Моделирование закономерностей самоиндуцированного капиллярного распада вязкой струи, ее самопроизвольного изгиба, а также взаимодействия капельного потока с жидкой пленкой

Сафонов А.А.

АО ГНЦ «Центр Келдыша», Москва

Решение ряда задач, связанных с использованием космического пространства, требует качественного повышения мощности энергетических установок космических аппаратов. При создании таких систем возникает задача отведения низкопотенциального тепла. Как правило, в космосе она решается с помощью панельных холодильников – излучателей. Однако при повышении отводимой мощности быстро растет площадь, а с ней – и метеоритная уязвимость таких систем. Бронирование поверхности излучателя неприемлемо повышает массу конструкции. Выходом представляется использование капельного холодильника – излучателя (КХИ), идея которого заключается в радиационном остывании распространяющегося дисперсного потока. Создание капельной пелены осуществляется с помощью генератора капель, сбор остывшего потока – уловителем капель.

Капельный поток создается методом капиллярного распада струй, истекающих из капиллярных форсунок генератора капель. Для лучшего

остывания рабочего тела, необходима минимизация скорости капельного потока. При ее снижении до уровня, сравнимого с капиллярным пределом, возникает ряд новых физических эффектов, не типичных для классических задач диспергирования вещества.

Качественно меняются закономерности капиллярного распада струи. Образование капель становится самоиндуцированным процессом. При отделении зародыша капли, в струе формируется коротковолновые бегущие волны. При отражении от капиллярной форсунки, за счет эффекта Доплера меняется их длина волны, и часть спектра преобразуется в длинноволновые растущие, но не распространяющиеся (относительно струи) возмущения. Для качественного описания этого явления вместо моделей абсолютной и конвективной неустойчивостей приходится использовать модели глобальной [1] и граничной [2] неустойчивостей струи. Экспериментальное изучение развития данных неустойчивостей затруднено влиянием силы тяжести, «искажающим» закономерности явления [2]. Количественное теоретическое описание закономерностей самоиндуцированного распада струи из-за сильной нелинейности волновых явле-

ний становится возможным лишь путем численного моделирования. В данной работе для численного моделирования капиллярного распада использовалась методика, основанная на методах механики Лагранжа, разработанная в работе [3]. Метод численного моделирования верифицирован путем сравнения с результатами космического эксперимента по самоиндуцированному распаду не вязкой струи [2]. Применительно к задаче создания КХИ, интерес представляют закономерности распада вязких струй (все жидкости – потенциальные рабочие тела с низкой испаряемостью, обладают высокой вязкостью). Рассчитана зависимость длины нераспавшейся части струи от ее скорости и вязкости жидкости.

При снижении скорости истечения струи интенсифицируется явление ее самопроизвольного изгиба. Его экспериментальное изучение показывает, что изгиб происходит в результате развития коротковолновых возмущений с длиной волны, соизмеримых с диаметром струи. В то же время, в большинстве работ, посвященных изучению закономерностей изгиба струи (например [4]) обсуждаются закономерности развития длинноволновых возмущений. Задача изгиба струи в математической формулировке оказывается аналогичной задаче потери устойчивости сжатой балки [5]; в этом смысле как правило задача исследуется в постановке, аналогичной теории балок Эйлера–Бернулли. В данной работе задача изгиба струи исследована в постановке, аналогичной теории изгиба балок Тимошенко. Дополнительно предложен метод расчета максимального углового отклонения струи, ос-

нованный на учете нелинейных эффектов в окрестности капиллярной форсунки. Проводится сравнение теоретически полученных результатов с экспериментами.

В КХИ ряд ограничений на параметры капельного потока определяются закономерностями взаимодействия капельного потока с уловителем капель. Разработано несколько различных концепций уловителей капель. Но в уловителе любого типа капельный поток взаимодействует с поверхностью движущейся пленки. В уловителе капель КХИ недопустимо возникновение вторичных капель при сборе дисперсного потока. В данной работе методами механики Лагранжа исследуются развитие неустойчивостей на поверхности жидкой пленки, взаимодействующей с капельным потоком.

Список литературы

- [1] *Yakubenko P.A.* Capillary instability of an ideal jet of large but finite length // *European journal of mechanics. B, Fluids.* 1997. V. 16. Iss. 1. p. 39–48.
- [2] *Umemura A., Osaka J., Shinjo J. et al.* Coherent capillary wave structure revealed by ISS experiments for spontaneous nozzle jet disintegration // *Microgravity Sci. Technol.* 2020. V. 32. p. 369–397.
- [3] *Fuchikami N., Ishioka S., Kiyono K.* Simulation of a Dripping Faucet // *J. Phys. Soc. Jpn.* 1999. 68. p. 1185-1196.
- [4] *Ентов В.М., Ярин А.Л.* Динамика струй капельной жидкости. Институт проблем механики АН СССР. Препринт № 127. 1979. 58 с.
- [5] *Bejan A.* On the buckling property of inviscid jets and the origin of turbulence // *Letters in Heat and Mass Transfer.* 1981. V. 8(3), p. 187–194.