

ДИСПЕРСНОСТЬ ЧАСТИЦ ЖИДКОСТИ ПРИ СХОДЕ ПЛЕНКИ С КРОМОК СОПЛОВЫХ ЛОПАТОК ТУРБИННЫХ СТУПЕНЕЙ

А.А. Матвеева, Л.А. Беляев, А.С. Зайцев, С.А. Шевелев
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТЭС

Экономичность турбинных ступеней работающих в области влажного пара, а также их эрозионный износ, в значительной степени зависит от дисперсности частиц жидкости. Основным источником образования крупнодисперсной влаги является дробление пленок в кромочном следе лопаток.

В настоящее время в научной литературе приведены данные по дисперсности влаги в кромочном следе в зависимости от формы выходной кромки и режимных параметров течения [9]. Однако точность полученных результатов недостаточна в связи с тем, что измерения проводились с помощью зонда отпечатков. Как известно, зонд отпечатков улавливает частицы, обладающие большой инерцией, другие же частицы, следующие за линиями тока несущей среды, не попадают в приемное окно. Также как любой зонд, зонд отпечатков нарушает естественную газодинамическую структуру потока.

Целью настоящей работы является экспериментальное изучение процесса дробления пленки жидкости в кромочном следе и определение дисперсности образовавшихся частиц в широком диапазоне режимных параметров. Так как акцент в работе сделан на процесс разрушения пленки, то в качестве несущей среды взят воздух, что исключает влияние других факторов на дисперсность частиц жидкости. Кроме того, воздух является оптически прозрачной средой, что позволяет визуализировать процесс дробления с помощью видеосъемки скоростной видеокамерой.

Экспериментальная установка, на которой проводились исследования, представлена на рисунке 1. В плоскости симметрии дозвукового сопла помещалась исследуемая модель с толщиной кромки Δ . Пленка на лопатке формировалась подачей жидкости через отверстие на ее поверхности. Изменение геометрических параметров модели осуществлялось изменением формы и размера пластин, а вариация режимов обтекания – изменением отношения давления ($\varepsilon = P_{вых} / P_{вх}$) на сопло и, как следствие, изменением скорости потока. Исследования проводились для лопаток с толщиной кромки $\Delta = 1, 2, 3$ мм, плоской и скругленной формы; ε варьировалось в диапазоне 0,5..0,9.

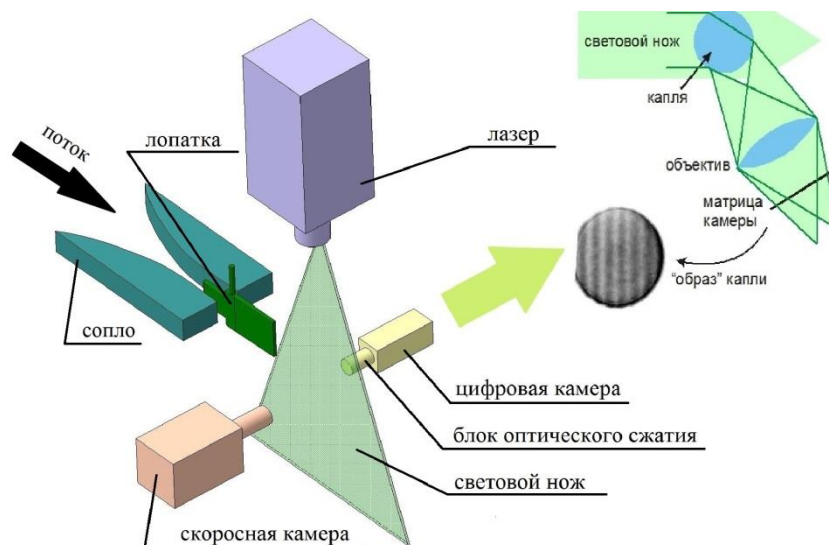


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Определение размеров капель производилось оптическим методом «Interferometric Particle Imaging» (IPI), основные положения которого изложены в [1, 3-5]. При проведении экспериментов, для минимизации погрешности, были соблюдены рекомендации [2] для измерений диаметров капель. Итоговая погрешность определения размеров мелкодисперсных капель не превысила 2,5 %.

Процесс дробления пленки жидкости в кромочном следе фиксировался при помощи скоростной видеокамеры Photron FASTCAM SA1.1 под увеличением в проходящем свете с частотой съемки 72000 кадров в секунду. Пример кинограммы для скругленной кромки приведен на рисунках рисунке 2.



Рис. 2. Кинограмма процесса схода пленки с лопатки со скругленной кромкой. Интервал между кадрами $1,068 \cdot 10^{-4}$ с.

На поверхности лопатки образовывалась пленка жидкости, толщина которой составила 300..400 мкм независимо от толщины и формы кромки. Влага натекала на кромку лопатки, где происходило накопление некоторого «критического» ее количества. Далее происходило вытягивание язычка жидкости в область аэродинамической тени лопатки. При этом следует отметить, что аккумуляция и срыв язычка происходили на кромке у плоскости, противоположной той, по которой двигалась пленка. При попадании язычка в область высокой скорости основного потока происходило практически мгновенное разрушение части язычка, попавшей в несущий поток. Зависимость

расстояния, на котором происходит разрушение от \mathcal{E} представлена на рисунке 3. Часть язычка, не попавшая в поток, снова стягивалась к лопатке, и цикл начинался заново. Иногда происходил отрыв от язычка относительно крупного бесформенного сгустка непосредственно в области аэродинамической тени. Этот сгусток дрейфовал с незначительной скоростью и разрушался при попадании в основной поток. Частота цикла в эксперименте оставалась практически неизменной как при изменении размеров и формы кромки, так и при изменении режимных параметров и составила 200..240 Гц.

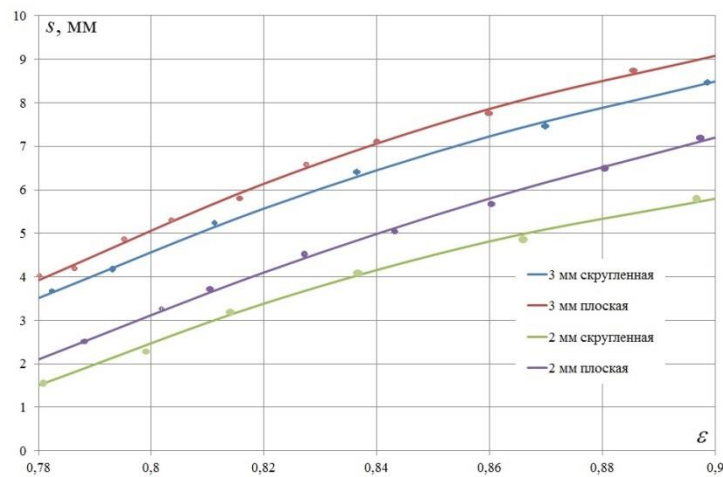


Рис. 3. Расстояние разрушения пленки.

Сравнение дисперсности частиц в кромочном следе с результатами работы [8] представлено на рисунке 3. Выявленное значительное отличие объясняется большей чувствительностью к частицам малого размера метода, используемого в настоящей работе. Влияния формы кромки на дисперсность в настоящей работе не выявлено.

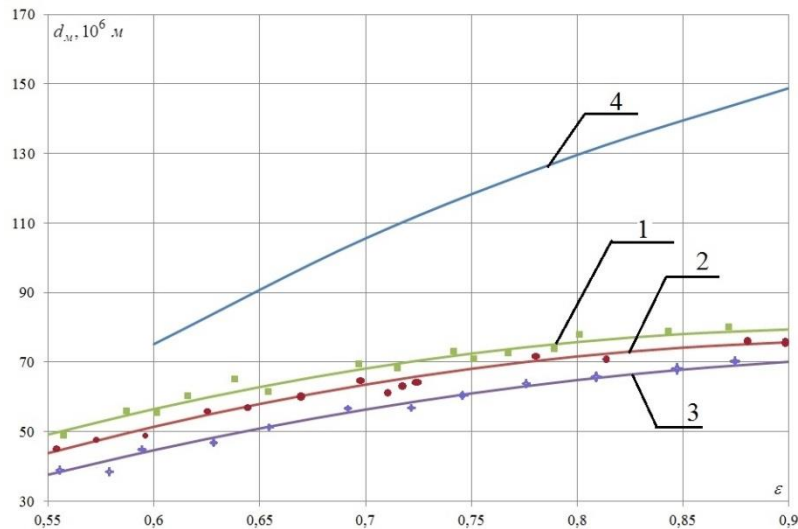


Рис. 4. Влияние толщины скругленной кромки на массовый спектр капель влаги в кромочном следе. 1 – $\Delta = 1$ мм; 2 – $\Delta = 2$ мм; 3 – $\Delta = 3$ мм; 4 – данные [10], $\Delta = 3$ мм.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бильский А.В., Ложкин Ю.А., Маркович Д.М. Интерферометрический метод измерения диаметров капель // Теплофизика и аэромеханика. 2011. Т. 18, № 1. С. 1–13.
2. Dehaeck S., Beeck J. P. A. J. van Designing a maximum precision interferometric particle imaging set-up // Experiments in Fluids, 42 (2007). 767-781.
3. Glantschnig W.J., Chen S. Light scattering from water droplets in the geometrical optics approximation // Applied Optics. 1981. Vol. 20. P. 2499–2509.
4. Kawaguchi T., Akasaka Y., Maeda M. Size measurements of droplets and bubbles by advanced interferometric laser imaging technique // Measurement Science and Technology. 2002. Vol. 13. P. 308-316.
5. Konig G., Anders K., Frohn A. A new light-scattering technique to measure the diameter of periodically generated moving droplets // J. of Aerosol Science. 1986. Vol. 17, No. 2. P. 157-167.
6. Willert C. (1996) The fully digital evaluation of photographic PIV recordings. Appl. Sci. Res., Vol. 56, pp. 79-102.
7. «Интерферометрический метод измерения диаметров частиц (ИПИ). Руководство пользователя»: Институт теплофизики ми С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск. – 2013.
8. Хизанашвили, М. Д. Исследование структуры потока влажного пара в сопловых решетках и внутриканальная сепарация: дис-

сертация кандидата технических наук / М. Д. Хизанашвили, Моск. энерг. ин-т (МЭИ) . – 1973 . – 227 с.

Научный руководитель: Л.А. Беляев, к.т.н., доцент каф. АТЭС ЭНИН ТПУ.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРЯМОТОЧНЫХ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ

И.С. Дергачёв, И.Г. Ткаченко
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТЭС, группа 5012

Целью данной исследовательской работе является изучение методики расчета прямоточных парогенераторов, в данном случае парогенератора БН-600.

Задачи, поставленные нами в данном исследовании:

- Изучить методику расчета прямоточных парогенераторов
- Рассмотреть особенности выбранного парогенератора, дополнить методику и показать результаты расчета.
- Произвести расчет данного парогенератора с другим теплоносителем и получить мощность и паропроизводительность равную значению из курсового проекта.
- Сравнить полученные данные, с данными уже посчитанными ранее.
- Сделать вывод по полученным данным и по методике расчета.

Методика, использованная нами в курсовом проекте, была взята из [2, стр. 363]. Эта методика рассматривает прямоточный парогенератор с натриевым теплоносителем.

В курсовом проекте задаются исходные данные. Исходя из этих данных, определяем, что нам искать в первую очередь: паропроизводительность, расход ТН, или тепловую мощность парогенератора. Для этого составляем уравнение баланса и находим неизвестную величину. Далее ищем тепловую мощность экономайзера, испарителя, перегревателя и промежуточного перегревателя. Строим Т-Q диаграмму.

Дальше переходим к определению числа трубок и модулей парогенератора. Для этого необходимо знать толщину стенок трубки и физические характеристики материала трубок. Определив число модулей, находим расход ТН и паропроизводительность на один модуль.

В зависимости от модуля разбиваем его на характерные участки, и ведем расчет поверхности нагрева парогенератора и длины труб.