

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
НИИ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И МЕХАНИКИ ТОМСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
СОВЕТ МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ ТГУ

---



## **Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики**

**Международная молодежная научная конференция**

17–19 ноября 2014 г., Томск



Издательство Томского университета  
2015

## Секция 4

**БАЛЛИСТИКА И НЕБЕСНАЯ МЕХАНИКА****МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ  
ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ЖИДКОСТИ ЭЖЕКЦИОННЫМИ ФОРСУНКАМИ****А.Л. Астахов, В.А. Архипов**

*Представлена методика экспериментального исследования диспергирования жидкости эжекционными форсунками. Приведена схема установки для измерения размеров капель в факеле распыла методом малых углов индикатрисы рассеяния.*

**TECHNIQUE FOR EXPERIMENTAL STUDY OF LIQUID ATOMIZING BY  
EJECTION NOZZLES****A.L. Astakhov, V.A. Arkhipov**

*The technique for experimental study of the liquid atomizing by ejection nozzles is considered. The apparatus for measuring of droplets size in the spray by small-angle scattering methods is presented.*

Проблема распыливания жидкости актуальна применительно к обеспечению надежного сгорания топливных смесей в двигателях внутреннего сгорания и в камерах сгорания ракетных двигателей. В порошковой металлургии эти вопросы активно изучаются с середины прошлого века, а в настоящее время приобрели особую актуальность в связи с повышением требований к размерам частиц конечного порошкового продукта.

Из всего многообразия способов распыливания жидкостей [1] в металлургии для производства высокодисперсных порошков из расплава алюминия наибольшее распространение получили технологии с использованием эжекционных форсунок. В эжекционных форсунках, относящихся к пневматическому типу распыливающих устройств, подача и диспергирование жидкости осуществляются за счет создаваемого перепада давлений на срезе сопла форсунки между распыливаемой жидкостью и вдуваемым газом [2]. Одним из преимуществ использования эжекционных форсунок является возможность совершенствования существующей технологии за счет модификации элементов распыливающего узла форсуночного блока.

Методика экспериментального исследования включает испытания форсунок на модельном пневмогидравлическом стенде с системой оптической диагностики.

Блок-схема измерительного стенда приведена на рис. 1.

Стенд содержит исследуемую форсунку 1 и системы подачи, измерения и регулирования расходов жидкости и газа. Система подачи жидкости включает резервуар 2 с рабочей жидкостью, компрессор 3 и батарею баллонов 4. Жидкость подается на форсунку по трубопроводу 5. Газ подается на форсунку из батареи баллонов 4 по трубопроводу 6. Измерение расхода газа осуществляется ротаметром 7, расхода жидкости – мерной емкостью 8. Для контроля давления используются манометры 9.

Для регулирования подачи жидкости и газа в схему стенда включены запорные вентили 10 и редукторы 11.

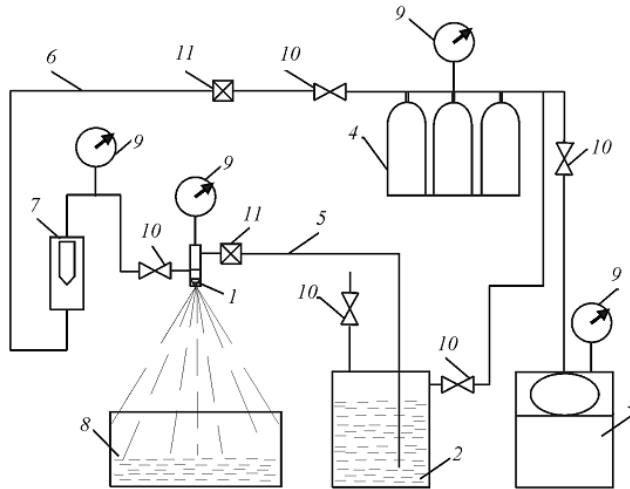


Рис. 1. Блок-схема пневмогидравлического стенда

Подаваемая через форсунку жидкость при взаимодействии с потоком газа образует факел распыла, который зондируется лазерным излучением. Пневмогидравлический стенд обеспечивает проведение испытаний модельных образцов форсунок в диапазоне рабочих давлений 0,1–1,0 МПа при изменении расхода жидкости до 10,8 кг/ч и воздуха до 6,3 м<sup>3</sup>/ч.

Для определения дисперсного состава капель в факеле распыла форсунки применен метод измерения угловой индикатрисы рассеяния лазерного излучения [3]. Рассеяние происходило под малыми углами к направлению падающего излучения. При выполнении условий рассеяния света независимыми частицами и его однократности интенсивность рассеянного полидисперсными частицами излучения может быть определена из уравнения теории дифракции [3]:

$$I(\theta) = \left(\frac{\lambda}{2\pi}\right)^3 \frac{I_0}{\theta^2} \int_0^\infty \beta^2 f(\beta) J_1^2(\beta\theta) d\beta. \quad (1)$$

Решение интегрального уравнения (1) для функции  $f(\beta)$  имеет вид

$$f(\beta) = \left(\frac{\lambda}{2\pi}\right)^3 \frac{1}{\beta^2} \int_0^\infty D(\theta) H(\beta\theta) d\beta. \quad (2)$$

Ядро обращенного интегрального уравнения (2), зависящего от произведения  $(\beta\theta)$ , равно

$$H(\beta\theta) = -2\pi\beta\theta J_1(\beta\theta) Y(\beta\theta),$$

где  $Y(\beta\theta)$  – функция Неймана.

Измерительная информация об индикатрисе рассеяния содержится в функции  $D(\theta)$ :

$$D(\theta) = \frac{d}{d\theta} \left[ \frac{I(\theta)}{I_0} \theta^3 \right] = \left( \frac{\lambda}{2\pi} \right)^3 \int_0^\infty \beta^2 f(\beta) K(\beta\theta) d\beta,$$

где  $K(\beta\theta)$  имеет вид

$$K(\beta\theta) = \frac{d}{d(\beta\theta)} \left[ \beta\theta J_1^2(\beta\theta) - \frac{1}{\pi} \right].$$

Функцию распределения частиц по размерам по экспериментально измеренной индикатрисе рассеянного излучения определяют из решения обратной задачи оптики аэрозолей с использованием приведенных зависимостей. Восстановление функции распределения  $f(\beta)$  по измеренной индикатрисе рассеяния  $I(\theta)$  проводилось численно с помощью метода и алгоритма расчета, основанных на концепции подбора при решении серии прямых задач (метод прямого поиска).

Для определения дисперсности капель в факеле распыла исследуемых форсунок разработана лазерная установка, основанная на измерении интенсивности излучения, рассеянного на аэрозольных частицах в области малых углов. Система оптической диагностики включает блок лазерного излучателя и блок измерения параметров лазерного излучения. В качестве источника зондирующего излучения использовался лазерный модуль KLM-650/20 с длиной волны излучения  $\lambda=0,65$  мкм и мощностью 20 мВт. В качестве приемника излучения использовался германиевый фототранзистор ФТГ-4, с диапазоном спектральной чувствительности 0,4–1,9 мкм. Определение угла рассеяния  $\theta$  зондирующего излучения проводилось с помощью лазерной указки, закрепленной на консоли соосно с приемником излучения. Значение угла рассеяния рассчитывалось по показаниям измерительной шкалы и геометрическим характеристикам оптической системы. Приборный комплекс позволяет автоматически регистрировать экспериментальные данные в реальном масштабе времени.

При обработке экспериментальной информации измеренный угол рассеяния (в градусах) переводился в радианы, а полученная из решения обратной задачи функция распределения  $f(\beta)$  приводилась к зависимости  $f(r)$ . В качестве аппроксимирующей функции для  $f(r)$  используется гамма-распределение

$$f(r) = ar^\alpha \exp(-br),$$

где  $\alpha$ ,  $a$ ,  $b$  – параметры распределения.

Интегральная функция  $F(r)$  счетного распределения капель рассчитывается по уравнению

$$F(r) = \int_0^r f(r) dr.$$

Наряду с функцией распределения для описания дисперсных сред широко используются модальный радиус  $r_0$  (соответствующий максимуму дифференциальной

функции счетного распределения), а также осредненные радиусы частиц:  $r_{10}$  – среднеарифметический;  $r_{32}$  – средний объемно-поверхностный;  $r_{43}$  – среднемассовый и др. В общем случае значения осредненных характеристик определяются соотношением

$$r_{mn} = \left( \frac{\int_0^{\infty} r^m f(r) dr}{\int_0^{\infty} r^n f(r) dr} \right)^{\frac{1}{m-n}},$$

где  $m, n$  – целые числа, означающие порядок момента функции распределения.

**Вывод.** Рассмотрены методика и экспериментальная установка для бесконтактных измерений функции распределения размеров капель при распыливании жидкости эжекционными форсунками.

#### *Литература*

1. Витман Л.А., Кацельсон Б.Д., Палеев И.И. Распыливание жидкости форсунками. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1962.
2. Силаев А.Д., Дишман Б.Д. Диспергирование жидких металлов. М.: Metallurgia, 1983.
3. Архипов В.А., Бондарчук С.С. Оптические методы диагностики гетерогенной плазмы продуктов сгорания. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2012.

## ОЦЕНИВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ СТОЛКНОВЕНИЯ АСТЕРОИДОВ С ПЛАНЕТАМИ

**Е.А. Баранников**

*Рассматривается общепринятая методика, согласно которой вероятность столкновения астероидов с планетами оценивается как отношение числа столкновительных точек доверительной области к их общему числу. На примере модельных астероидов исследуются особенности применения данного метода, выявляются характерные особенности задачи и достоверность получаемых оценок.*

## ESTIMATION OF PROBABILITY OF ASTEROIDS IMPACTS WITH PLANETS

**E.A. Barannikov**

*In accordance with generally accepted procedure, probability of possible asteroid collision with planet one estimates as quotient of impacting points number of asteroid's confidence region from their full number. On example of fictitious asteroid, which inevitably should come into collision with Earth, reliability of such estimations is investigated.*

По причине того, что наблюдения астероидов сопряжены с неизбежными ошибками наблюдений, мы можем получить лишь некоторую оценку их возможных параметров орбит. Эта оценка определяет номинальную орбиту, которая будет тем ближе к истинной орбите, чем больший интервал охвачен наблюдениями. На основании полученной оценки можно указать также некоторую область возможных значений параметров (доверительную область), каждая точка которой согласуется с имеющимися наблюдениями. Для того чтобы расчетное движение астероидов было более достоверным, целесообразно описывать его плотным пучком траекторий, выходящих из начальной области возможных значений параметров. Начальную доверительную область можно формировать различными способами.