

**А.М. ШЕВЕЛЕВА,  
В.А. ГРУШКО**

(Украина, Днепропетровск, Институт технической механики НАНУ и ГКАУ)

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВУХФАЗНЫХ ТЕЧЕНИЙ В РАЗГОННЫХ ТРУБКАХ СТРУЙНЫХ МЕЛЬНИЦ**

*Введение.* Струйные мельницы на сегодняшний день являются одними из наиболее перспективных помольных агрегатов для тонкого и сверхтонкого измельчения материалов. Широкое распространение струйных мельниц практически во всех отраслях промышленности обусловлено исключительной простотой и надежностью конструкции, а также высокими технико-экономическими показателями [1, 2].

Однако имеется ряд недостатков, влияющих на эффективность процесса измельчения в струйной мельнице. Одним из таких недостатков является повышенный износ разгонных трубок измельчителя. Это связано с воздействием частиц твердой фазы на стенки разгонного канала струйной мельницы.

Для предотвращения износа разгонных трубок необходимо проводить мероприятия, обеспечивающие надежную защиту стенок разгонного канала от воздействия твердых частиц. К таким мероприятиям можно отнести создание дополнительного потока, подведенного через щелевые отверстия в разгонном канале.

*Целью данной работы* является экспериментальное установление характера течений двухфазных дозвуковых потоков в разгонной трубке струйной мельницы при наличии подвода дополнительного потока газа.

### *Описание модели*

Для исследования двухфазных течений в разгонной трубке струйной мельницы в ИТМ НАНУ и ГКАУ была разработана и изготовлена осесимметричная модель эжектора струйной мельницы, схема которой изображена на рис. 1.

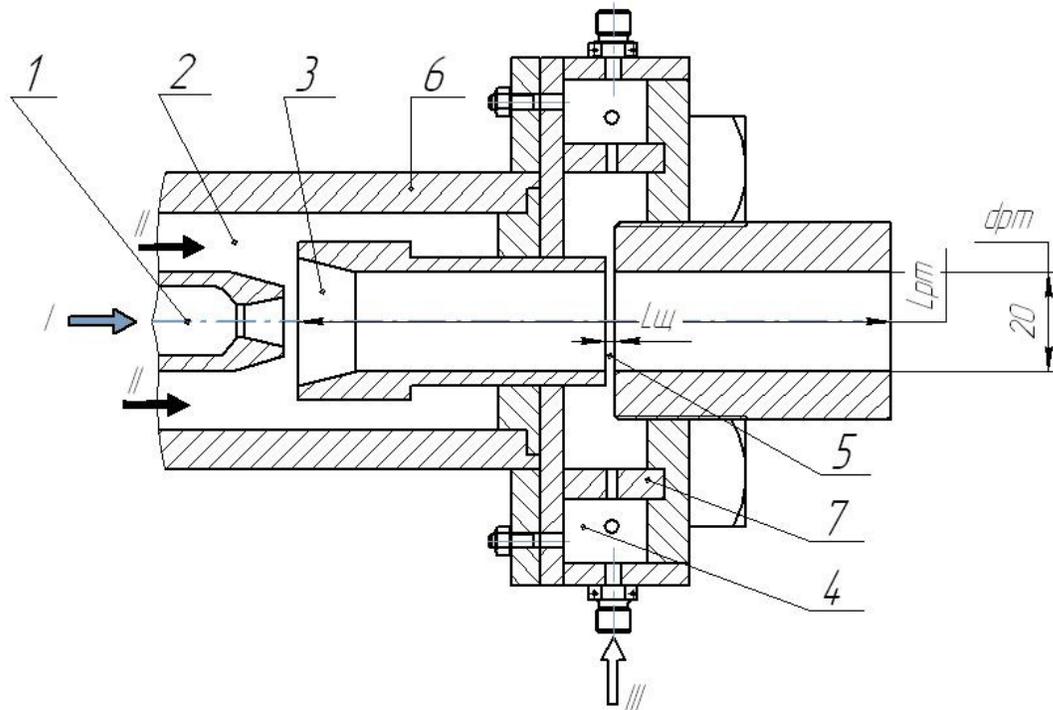


Рис. 1. Схема осесимметричной модели эжектора струйной мельницы:  
 1 – сопло подвода высоконапорного газа; 2 – канал подвода твердой фазы;  
 3 – разгонный канал, 4 – канал подвода дополнительного потока;  
 5 – щелевое отверстие; 6 – корпус модели; 7 – распределительное кольцо;  
 потоки: I – эжектирующий, II – эжектируемый, III – дополнительный (защитный)

Модель включает:

- сопло подвода высоконапорного (эжектирующего) газа 1;
- канал подвода твердой фазы (эжектируемый поток) 2;
- разгонный канал 3;
- канал подвода дополнительного (защитного) потока газа 4;
- щелевое отверстие 5, через которое осуществляется дополнительный подвод газа;
- корпус модели 6;
- распределительное кольцо 7.

Схема данной модели основана на классической схеме эжектора [3], где эжектирующий поток подводится из сопла, расположенного на центральной оси смесительного канала, а эжектируемый – по периферии.

Принципиальным отличием данной схемы от классической является наличие канала подвода потока дополнительного газа, который, равномерно распределяясь по сечению кольца 7, поступает в разгонную трубку 3 через щелевое отверстие 5.

Корпус модели выполнен из нержавеющей стали. Геометрические параметры модели: длина разгонного канала  $L_{pm} = 155$  мм, диаметр разгонного канала –  $d_{pm} = 20$  мм, ширина щели –  $L_{щ} = 1$  мм. Распределительное кольцо моде-

## Підготовчі процеси збагачення

ли включает 24 отверстия, диаметром 4 мм каждое, обеспечивающие равномерное распределение защитного потока по всему сечению кольца.

Общий вид модели представлен на рис. 2.



Рис. 2. Общий вид осесимметричной модели эжектора струйной мельницы

### *Ход экспериментальных исследований*

Исследования проводились в несколько этапов.

Первый этап заключался в определении характера течения высоконапорного газа, истекающего из сопла 1, без наличия дополнительного подвода газа.

Целью данного этапа было определение картины течения в смесительном канале при стандартной компоновке.

Ход эксперимента состоял в следующем.

1. Устанавливалась модель на стенд.
2. В разгонную трубку модели вставлялась тонкая пластина, покрытая сажемасляной краской. Пластина крепилась с помощью уплотнителей.
3. Устанавливался заданный режим по давлению воздуха, который подавался на вход в сопло до его стабилизации.
4. Прекращалась подача воздуха в модель.
5. После окончания опыта пластина с краской извлекалась из разгонной трубки модели, далее проводилась фоторегистрация полученной картины течений.

Параметры энергоносителя на первом этапе:

- давление на входе в сопло эжектирующего газа  $P_0 = 0,3$  МПа;
- давление на входе в канал подачи дополнительного потока  $P_{вд} = 0$  МПа;
- температура основного потока  $t = 293$  К.

## Підготовчі процеси збагачення

Второй этап заключался в исследовании характера влияния дополнительного потока газа, перпендикулярно подведенного в разгонную трубку осесимметричной модели.

Цель этого этапа состояла в изучении возможности защиты стенок разгонной трубки от воздействия основного потока за счет подачи дополнительного потока газа, направленного перпендикулярно основному.

Методика проведения эксперимента на втором этапе аналогична предыдущей с той лишь разницей, что по внешней стенке разгонного канала 3 перпендикулярно основному потоку через щелевое отверстие 5 подавался дополнительный (защитный) поток газа, равномерно распределенный по кольцу 7.

Параметры энергоносителя при экспериментах второго этапа:

- давление на входе в сопло эжектирующего газа  $P_0 = 0,3$  МПа;
- давление на входе в канал подачи дополнительного потока газа  $P_{вд} = 0,15$  МПа;
- температура основного потока газа  $t = 293$  К;
- температура дополнительного потока газа  $t_{вд} = 293$  К;
- угол подвода дополнительного потока газа  $\alpha = 90^\circ$ .

Третий этап состоял в исследовании влияния дополнительного потока при угле подвода, значительно меньшем  $90^\circ$ .

Порядок проведения эксперимента на третьем этапе аналогичен порядку проведения эксперимента на втором этапе.

Параметры энергоносителя эксперимента третьего этапа совпадали с параметрами второго этапа, кроме угла подвода  $\alpha = 30^\circ$ .

### *Результаты экспериментальных исследований*

В результате проведенных исследований были получены визуальные картины течения газа в осесимметричной модели эжектора струйной мельницы без наличия дополнительного подвода защитного потока газа (рис. 3), а также в присутствии защитного потока газа, направленного перпендикулярно основному потоку (рис. 4) и под углом  $30^\circ$  (рис. 5).

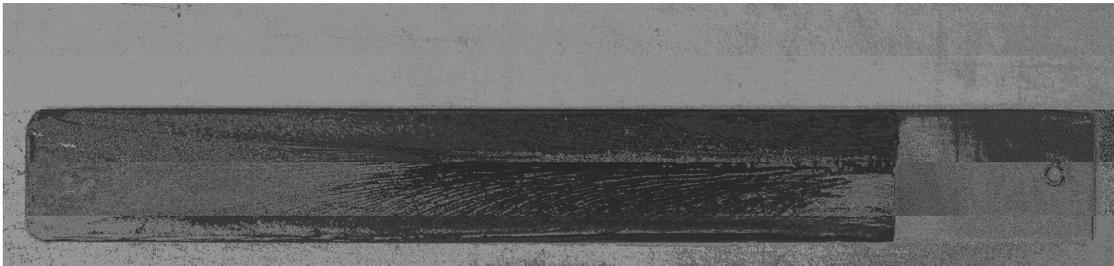


Рис. 3. Картина течения потока воздуха, истекающего из сопла эжектирующего газа, без дополнительного подвода воздуха ( $P_0 = 0,3$  МПа,  $P_{вд} = 0$  МПа,  $t = 293$  К)

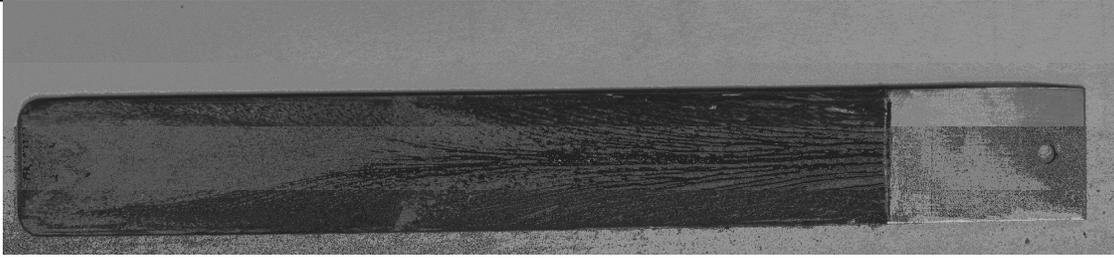


Рис. 4. Картина течения потока воздуха при наличии защитного перпендикулярного вдува ( $P_0 = 0,3$  МПа,  $P_{\text{вд}} = 0,15$  МПа,  $t = 293$  К,  $t_{\text{вд}} = 293$  К,  $\alpha = 90^\circ$ )

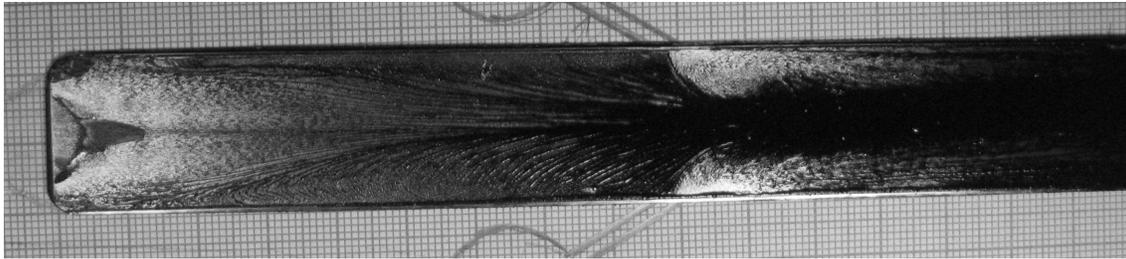


Рис. 5. Картина течения потока воздуха при наличии защитного вдува под углом  $30^\circ$  ( $P_0 = 0,3$  МПа,  $P_{\text{вд}} = 0,15$  МПа,  $t = 293$  К,  $t_{\text{вд}} = 293$  К,  $\alpha = 30^\circ$ )

Анализ результатов показывает, что высоконапорный поток газа соприкасается со стенками разгонного канала, начиная с  $1/3$  длины разгонного канала, что приводит к износу разгонной трубки.

Дополнительный поток газа, перпендикулярно подведенный в разгонный канал струйной мельницы, "отодвигает" основной поток от стенок разгонной трубки, прижимая его к оси канала, по длине, эквивалентной диаметру канала. Однако при возрастании скорости дополнительной струи возможно "пережатие" основного потока. В этом случае изменится направление движения основного потока, его скорость снизится и в сечении разгонной трубки может возникнуть "запирание" канала.

Дополнительный поток газа, направленный в разгонный канал под углом  $30^\circ$ , оказывает заметно меньшее сопротивление основному потоку, при этом препятствуя соприкосновению основного потока со стенками разгонного канала по длине разгонной трубки, эквивалентной двум диаметрам канала.

Необходимы дальнейшие исследования для выявления такого значения угла наклона дополнительного потока газа к стенке разгонного канала, которое позволило бы защитить разгонную трубку от воздействия основного потока по всей длине трубки без существенного снижения скорости последнего. При этом центральный двухфазный поток, т.е. основной поток энергоносителя с частицами сыпучего материала, внесет существенное изменение в характер течения в разгонной трубке. Для исследования такого течения необходимо уточнить методику эксперимента и анализа результатов.

### *Выводы*

Для исследования двухфазных течений в разгонной трубке струйной мельницы была разработана и изготовлена модель эжектора струйной мельницы, основанная на классической схеме эжектора и оснащенная каналом подвода дополнительного потока воздуха.

Результаты исследований показали, что защитный поток "отодвигает" основной поток от стенок разгонной трубки, прижимая его к оси канала. Перпендикулярный вдув, однако, оказывает значительное сопротивление эжектирующему потоку. Возрастание скорости дополнительного перпендикулярного потока газа приводит к изменению направления и значительному снижению скорости основного потока.

Гораздо меньшее сопротивление на основной поток оказывает дополнительный поток газа, направленный в разгонный канал под углом 30°. Такой защитный поток препятствует соприкосновению основного потока со стенками разгонной трубки по длине трубки, эквивалентной двум ее диаметрам.

Необходимо проведение дальнейших исследований, направленных на выявление оптимального угла подвода дополнительного потока.

### **Список литературы**

1. Акунов В.И. Струйные мельницы. – М.: Машиностроение, 1967. – 264 с.
2. Опыт эксплуатации экспериментальной газоструйной мельницы при получении тонкодисперсных порошков различного минерального сырья / Н.Д. Коваленко, Л.Ж. Горобец, А.Г. Ежов и др. // Тр. V-го конгресса обогатителей стран СНГ. – М., 2005. – Т. 2. – С. 113-114.
3. Александров В.Ю. Оптимальные эжекторы (теория и расчет). – М.: Машиностроение, 2012. – 136 с.

© Шевелева А.М., Грушко В.А., 2014

*Надійшла до редколегії 21.09.2014 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. Л.Ж. Горобець*