

УДК 66.021

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ ЧАСТИЦ ОТ ОТБОЙНОГО ЭЛЕМЕНТА

Лебедев А.Е., Зайцев А.И., Бадоев В.А.

*ФГБОУ ВПО «Ярославский государственный технический университет», Ярославль, Россия (150023, Ярославль, Московский пр., 88), e-mail:xe666@mail.ru*

В работе приводятся исследования по определению основного физико-механического параметра дисперсных материалов, характеризующего их поведение при ударе – коэффициента отражения. Данный параметр применяется для исследования механики удара полидисперсных потоков частиц неправильной формы, где имеет место возникновения турбулентных потоков воздуха, создаваемых распылителем. Представлен метод расчета коэффициента отражения и результаты опытных исследований по его определению для различных материалов. Приведены исследования по влиянию частоты вращения распылителя и его производительности на значение вышеуказанного коэффициента. Установлено, что с ростом частоты вращения, а, следовательно скоростей столкновения, значения коэффициента отражения увеличиваются. Повышение расхода материала приводит к уменьшению коэффициента отражения.

Ключевые слова: дисперсный поток, частица, коэффициент отражения, распыление, установка, коэффициент восстановления, движение.

## THE METHOD OF DETERMINING THE REFLECTION COEFFICIENT OF THE PARTICLES FROM THE CUTTING ELEMENT

Lebedev A.E., Zaytsev A.I., Badoev V.A.

*Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia (150023, Yaroslavl, Moskovskiy pr, 88), e-mail:xe666@mail.ru*

The paper presents research on the determination of the main physical-mechanical parameter of dispersed materials that characterize their behavior under the impact of the reflection coefficient. This option is used to study the mechanics of the kick polydisperse flows of particles of irregular form, where the occurrence of turbulent airflow generated by the atomizer. The method of calculation of the reflection coefficient and the results of experimental studies on its definition for different materials. This article studies the influence of frequency of rotation of the atomizer and its performance on the value of the above ratio. It is established that with increasing rotational speed and consequently the speed of the collision, the values of the reflection coefficient increases. Increased consumption leads to a decrease of the reflection coefficient

Keywords: dispersed flow, particle reflection coefficient, sputtering, installation, recovery factor, movement.

В данной работе приводятся исследования по определению основного физико-механического параметра дисперсных материалов, характеризующего их поведение при ударе – коэффициента отражения [1-4]. В результате удара потока частиц об отбойник образуется отраженный поток, причем параметры распределений числа частиц в нем зависят от формы и структуры набегающего потока, а также физико-механических характеристик частиц материала [2]. Для описания зависимости между углами падения и отражения частиц в потоке (а также между скоростями до и после удара) вводится понятие коэффициента отражения частиц  $K$ .

В литературе параметром, учитывающим изменение скоростей до и после удара одиночных частиц, является коэффициент восстановления [3]. Данная величина определяется опытным путем и может принимать значения от 0 до 1. При нулевом значении коэффициента восстановления имеет место абсолютно неупругий удар, при значении, равном 1 – абсолютно

упругий, без потери кинетической энергии.

Коэффициент восстановления при ударе зависит от множества факторов [5], однако в справочной литературе приводятся данные лишь для различных комбинаций материалов соударяющихся поверхностей. Практически отсутствуют сведения о зависимостях данного коэффициента от размеров частиц, из скорости движения, хотя данные характеристики могут существенно повлиять на его величину.

Однако в случае удара полидисперсного потока частиц неправильной формы имеет место возникновение турбулентных потоков воздуха, создаваемых как распылителем, так и движение самих частиц, применение методов расчета для одиночных частиц приводит к существенным погрешностям [6].

В отличие от коэффициента восстановления при ударе, который зависит только от материалов отбойника и частицы, введенный параметр учитывает совместное движение частиц и влияние воздушных потоков. Метод расчета данного параметра будет описан ниже.

Расчетная схема для определения коэффициента отражения в случае ударного взаимодействия потока частиц с неподвижным отбойным элементом проведена на рис. 1.

Струйный поток частиц сыпучего материала после взаимодействия с поверхностью неподвижного отбойника отражался в ловушку с ячейками. В опытах определялись средние значения коэффициента отражения.

Согласно рис.1 коэффициент отражения является отношением тангенсов средних

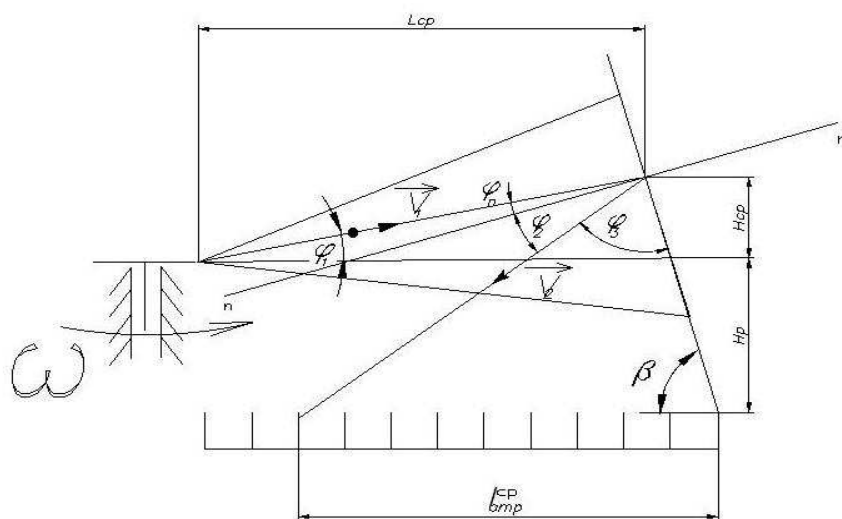


Рис. 1. Расчетная схема для определения коэффициента отражения

углов падения и отражения [2, 5]. Найдем зависимость между этими двумя величинами.

Угол между направлением вектора скорости отраженной частицы и плоскостью отбойника:

$$\phi_3 = \frac{\pi}{2} - \phi_2 \quad (1)$$

Для определения среднего угла отражения запишем соотношения, выражающие зависимости между углом наклона отбойника и углами, образованными между векторами скорости и нормали к отбойной поверхности:

$$\frac{l_{otr}^{cp}}{\sin(\phi_3)} = \frac{H_p + H_{cp}}{\sin(\beta)\sin(\pi - \phi_3 - \beta)} \quad (2)$$

Решая (2) с учетом (1) относительно  $\phi_2^{cp}$  получим :

$$\phi_2^{cp} = \arctg \left( \frac{l_{otr}^{cp} \sin^2(\beta)}{l_{otr}^{cp} \sin(\beta) \cos(\beta) - H_{cp} - H_p} \right) + \frac{\pi}{2} \quad (3)$$

Тогда

$$\tg(\phi_2) = -(l_{omp}^{cp} \sin \beta \cos \beta - H_{cp} - H_p)(L_0 \sin^2 \beta)^{-1} \quad (4)$$

Выражение для тангенса угла падения :

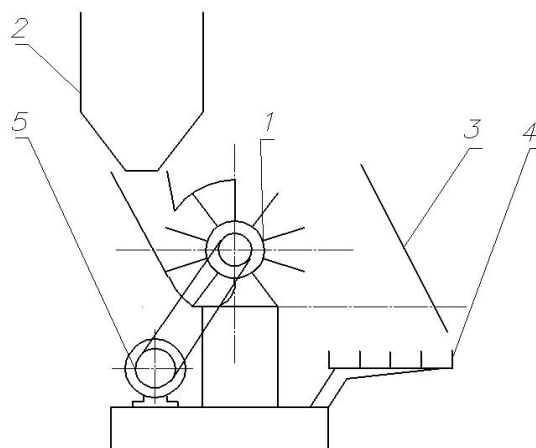
$$\tg \phi_n = H_{cp} (L - H_{cp} \ctg \beta)^{-1} \quad (5)$$

Тогда выражение для коэффициента отражения примет вид:

$$K = \frac{-(l_{omp}^{cp} \sin \beta \cos \beta - H_{cp} - H_p)(L_0 \sin^2 \beta)^{-1}}{H_{cp} L_0 \sin^2 \beta} \quad (6)$$

Значения расстояний  $H_{cp}$ ,  $H_p$  и  $l_{omp}^{cp}$  находятся из опытных данных.

Эксперимент по определению значений коэффициентов отражения проводился на установке, схема которой показана на рис. 2.



1-разбрасывающее устройство, 2-питатель, 3-отбойный элемент, 4-ловушка, 5- электродвигатель

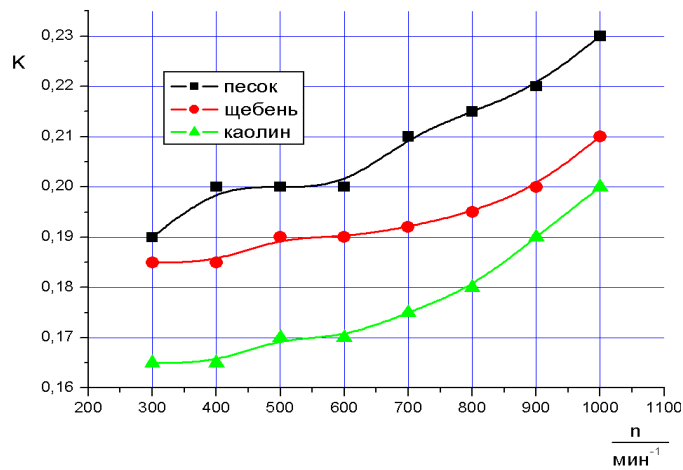
Рис. 2. Схема опытной установки для определения коэффициентов отражения

Сыпучий материал подавался из питателя 2 в разбрасывающее устройство 1, при вращении которого образовывался разреженный поток. При столкновении частиц материала с отбойным элементом 3 образовывался отраженный поток, который оседал в ячейках горизонтально установленной ловушки 4.

В опытах измерялась дальность полета частиц материала  $l_{отр}^{cp}$  в зависимости от различных режимных и конструктивных параметров устройства, а также физико-механических характеристик частиц.

Варьируемыми параметрами установки являлись частота вращения разбрасывающего устройства, угол наклона отбойника и количество материала подаваемого в единицу времени. Необходимо также отметить, что в опытах исследовалось влияние размеров частиц на значение коэффициента отражения. При проведении экспериментов были использованы такие материалы, как щебень, песок и каолин. Выбор материалов объясняется существенными различиями в размерах и физико-механических характеристиках частиц. во всех опытах материал отбойного элемента сталь Ст 3.

На рис. 3 изображены зависимости значений коэффициента отражения от частоты вращения ротора разбрасывающего устройства для некоторых сыпучих материалов.



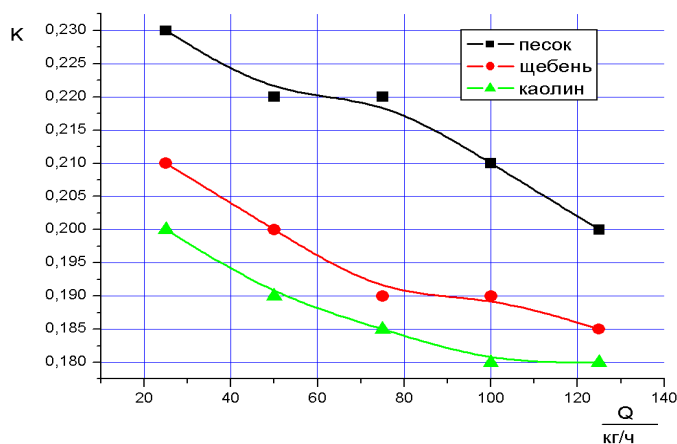
$$Q=25 \text{ кг/ч}, \beta=60^{\circ}$$

Рис.3. Опытные зависимости коэффициента отражения от частоты вращения распылителя

Из представленных на рис. 3 данных видно, что с ростом частоты вращения ротора разбрасывающего устройства наблюдается повышение значений коэффициента отражения. Возрастание величины  $K$  можно объяснить тем, что с повышением частоты вращения увеличивается ширина потока налетающего на отбойник. Такое возрастание ширины потока приводит к увеличению средней величины  $l_{отр}^{cp}$ , рост которой приводит к повышению коэффициента отражения. Еще одним объяснением возрастания величины  $K$  является тот факт, что в более широких потоках увеличиваются расстояния между частицами, что снижает вероятность их столкновения. Взаимные столкновения частиц могут нарушить форму отраженного потока, и снизить значение коэффициента  $K$ .

Наибольшие значения коэффициента отражения при всех частотах вращения были получены для песка, наименьшие для каолина.

Зависимости коэффициента отражения от расхода материалов показаны на рис.4.



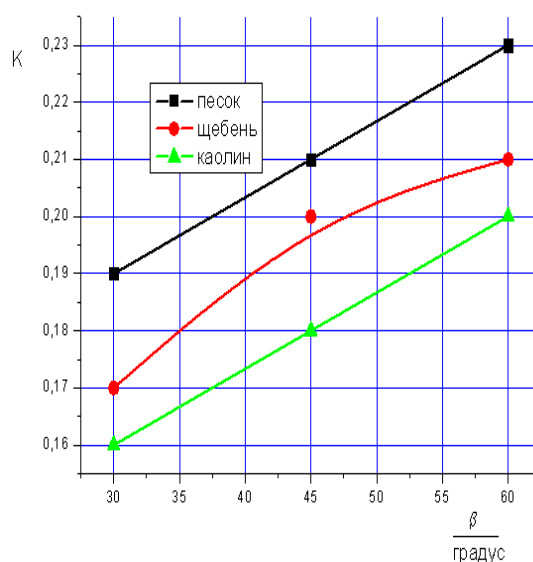
$$n=1000 \text{ мин}^{-1}, \beta=60^{\circ}$$

Рис.4. Опытные зависимости коэффициента отражения от расхода материалов

Расход материала приводит к увеличению плотности потока, что способствует увеличению вентиляционного эффекта и повышению аэродинамических сил сопротивления и, как следствие снижение скоростей движения. Еще одним фактором, влияющим на уменьшение значений коэффициента  $K$  при повышении расхода, является то, что после удара частицы отражаются от поверхности, а потоки воздуха движутся вдоль нее, тем самым происходит снижение скоростей отраженного потока.

Из данного рисунка видно, что траектории движения частиц, отраженных от отбойника и воздушных потоков не совпадают, вследствие чего наблюдается снижение скоростей отраженного потока.

Зависимости коэффициентов отражения от угла наклона отбойного элемента приводятся на рис. 5.



$$n=1000 \text{ мин}^{-1}, Q=25 \text{ кг/ч}$$

Рис.5. Опытные зависимости коэффициента отражения от угла наклона отбойного элемента

Возрастание значений коэффициента отражение с повышением угла наклона отбойника вызвано уменьшением углов падения  $\varphi_1$  практически для всех частиц потока. Так с ростом значений угла  $\varphi_1$  уменьшается влияние проскальзывания материала по поверхности отбойного органа, при котором частица расходует часть своей кинетической энергии на трение. Проскальзывание практически отсутствует при углах падения частиц близких к нулю и имеет максимальное проявления при значениях угла  $45^0 < \varphi_1 < 90^0$ .

На рост значений коэффициента отражения с повышением угла наклона отбойного органа оказывают влияние и воздушные потоки. Так при углах наклона  $\beta=30^0$  угол между векторами скоростей частиц и потоков воздуха больше, чем при  $\beta=60^0$ , что существенно повышает силы сопротивления и снижает скорости движения отраженных частиц.

Для сравнения в таблице 1 приводится сопоставление значений коэффициентов отражения и восстановления для частиц различных материалов.

Таблица 1

Экспериментальные значения коэффициентов отражения и восстановления для некоторых веществ (материал отбойного элемента – сталь Ст3)

материал	Коэффициент отражения $\beta=90^0$ , $v=5$ м/с, $Q=250$ кг/ч	Коэффициент восстановления
Каолин ГОСТ 21235-75	0,20-0,22	0,23-0,25
Технический углерод П 803 ГОСТ 7885-86	0,18-0,2	0,24-0,26
Песок 1К <sub>2</sub> О <sub>4</sub> О <sub>3</sub> ГОСТ 2138-91	0,22-0,24	0,26-0,27
Песок 2К <sub>2</sub> О <sub>4</sub> О <sub>3</sub> ГОСТ 2138-91	0,21-0,23	0,26-0,27
Торф ГОСТ Р 51661.3-2000	0,16-0,18	н/д
Щебень ГОСТ	0,21-0,22	0,24-0,26
Асфальтовый гранулят	0,17-0,19	н/д

Необходимо отметить, что приведенные в таблице значения коэффициента отражения получены при углах наклона отбойного органа  $90^0$ . Это объясняется тем, что данные для коэффициента восстановления в справочной литературе приводятся для прямого удара.

Данные, представленные в таблице 1, свидетельствуют о различии значений сравниваемых коэффициентов. Следовательно, при расчете движения потоков частиц использование коэффициента восстановления в качестве параметра, характеризующего изменение скоростей потоков после удара, может привести к существенным погрешностям.

### Список литературы

1. Капранова, А. Б. Исследование процесса ударного смешивания твердых дисперсных сред при вторичных столкновениях частиц // Изв. ВУЗов. Химия и химическая технология. – Иваново, 2013. – Т. 56, вып. 6. – С. 83-85.
2. Лебедев, А. Е. Математическое описание процесса образования дисперсных потоков // Фундаментальные исследования. – Москва, 2013. - №10, С. 3338-3341.
3. Лебедев, А. Е. Исследование процесса смешения сыпучих материалов в центробежном смесителе канального типа // Изв. ВУЗов. Химия и химическая технология. – Иваново, 2013. – Т. 56, вып. 6. – С. 90-91.

4. Лебедев, А. Е. Метод определения коэффициента неоднородности смеси при взаимодействии разреженных потоков // Изв. ВУЗов. Химия и химическая технология. – Иваново, 2012. – Т. 55, вып. 11. – С. 119-121.

5 Лебедев, А. Е. К расчету процесса ударного взаимодействия потока твердых частиц с преградой // Изв. ВУЗов. Химия и химическая технология. – Иваново, 2011. – Т. 54, вып. 6. – С. 105-106.

**Рецензенты:**

Мурашов А.А., д.т.н., заведующий кафедрой математических и естественнонаучных дисциплин Московского финансово-юридического университета, г.Ярославль,

Епархин О.М., д.т.н., профессор, директор Ярославского филиала ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет путей сообщения, г. Ярославль.