

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Ляпцев С.А., Волков Е.Б.

ГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»,
Екатеринбург, e-mail: gmf.tm@m.ursmu.ru

В статье приведен анализ исследований движения частиц щебня, выполненный по методике Н.К. Тимченко. Показано, что в расчетах Н.К. Тимченко сделано неверное предположение об угле начала свободного криволинейного полета частиц горных пород под углом 45° к горизонтали. Это приводит к неверному определению дальности полета частиц, так как отвечает другому процессу удара. Показано теоретически, как на самом деле должны выглядеть формулы, связывающие дальность полета частиц с углом наклона разделительной плоскости. По новой методике проведены расчеты, определяющие коэффициент восстановления горных пород, предложены методы оптимизации расчетов, позволяющие по заданному критерию решить поставленную задачу. Таким образом, получена истинная зависимость между дальностью полета рудной частицы и углом наклона обогатительной плоскости, дифференцируя которую и можно установить угол наклона плоскости, соответствующий максимальной дальности вылета частиц горных пород, отличающийся от значения, приводимого по методике Н.К. Тимченко.

Ключевые слова: частицы горных пород, коэффициент восстановления, обогатительная плоскость, трение, гипотеза Рауса, углы падения, отражения, дальность полета

TECHNIQUE OF DETERMINATION OF COEFFICIENT OF RESTORATION OF ROCKS

Lyaptsev S.A., Volkov E.B.

Ural state mining University, Yekaterinburg, e-mail: gmf.tm@m.ursmu.ru

It is shown that in the calculation of N.K. Timchenko made an incorrect assumption about the angle of the start of the free flight of the curved particle angular rocks under 45° to dorizontalny line. The last brings to an incorrect definition of the flight range of the particles, as the answers to another process. Is shown theoretically in fact should look formulas connecting flight distance of the particles with an angle of inclination of the separation plan. The new method the calculations that determine the coefficient of restitution of rocks, proposed optimization methods of calculation allowing for a given criterion to solve the problem. Thus a true relationship between a range of ore particles and angle concentrator plane and differentiating which you can set the angle of the plane corresponding to the maximum range of emission of particles of rocks. Angle of the plane is different from that actuated by method N.K. Timchenko.

Keywords: particles of rocks, restoration coefficient, concentrating plane, friction, Raus's hypothesis, angle of incidence, angle of reflection, flying range

Проектировщики разделительных аппаратов при проведении экспериментальных исследований материалов, подлежащих классификации, применяют труды [1]. Не секрет, что большой объем экспериментальных исследований не предполагает промышленной переработки исследуемых материалов. Так, с помощью результатов Н.К. Тимченко [2], полученных при обогащении щебня, спроектированы аппараты для разделения горных пород по упруго-фрикционным свойствам. В работе [1] описаны аппараты для предварительного обогащения углей, а в работе [3] – вибро-транспортные машины для обогащения сыпучих материалов. Эти же результаты использованы П.М. Заикой [4] для виброочистительных машин.

Суть экспериментов Н.К. Тимченко состоит в измерении дальности полета горных пород после удара об обогатительную плоскость (рис. 1).

Из захвата 1 частицы горных пород падают без начальной скорости, имея к началу соударения с обогатительной наклонной плоскостью скорость падения $V = \sqrt{2gh}$.

Затем происходит удар о наклонную плоскость 4. После чего частицы приобретают скорость, равную скорости отражения U , а затем отлетают по криволинейной траектории на горизонтальную плоскость 5.

Судя по расчетам, Н.К. Тимченко [2] использует максимум горизонтальной дальности частицы, для чего пытается эту дальность определить теоретически по формулам

$$U = \sqrt{l_{\max} g}; \quad (1)$$

$$k = \frac{\sqrt{Lg} \cos(45^\circ - \gamma)}{\sqrt{2gh}}. \quad (2)$$

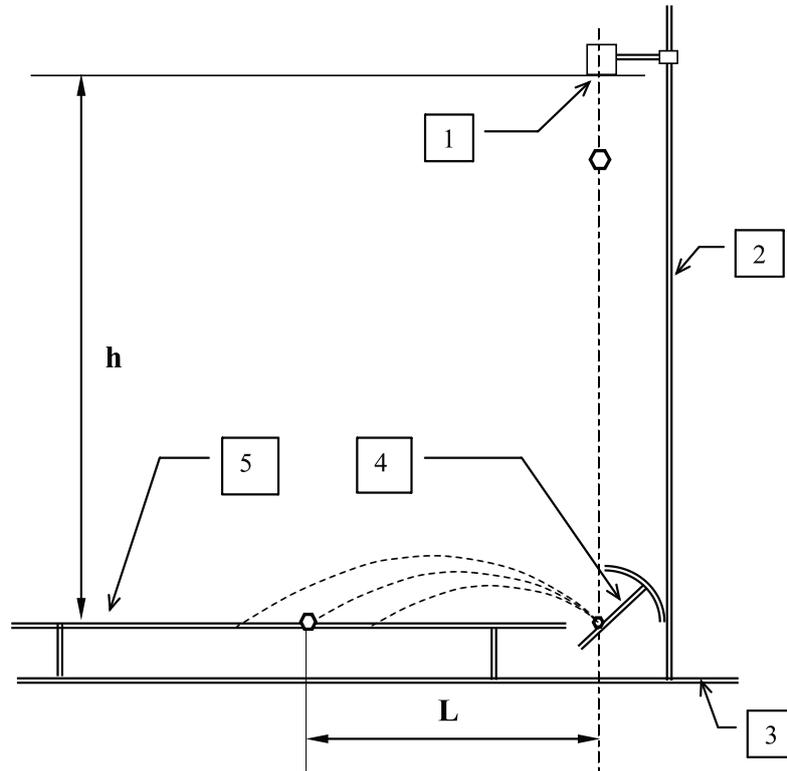


Рис. 1. Схема установки для изучения упругих свойств частиц горных пород:
1 – захват; 2 – вертикальная стойка; 3 – основание корпуса установки; 4 – наклонная плоскость;
5 – горизонтальная плоскость

По приведенным формулам (1) и (2) автор полагает, что угол отражения частицы с горизонталью равен 45° , и обеспечивает максимальную дальность l , с которой начинается свободный полет частицы. Он, по-видимому, опирается на классическую задачу И.В. Мещерского под номером 27.49 [7] по определению угла начала полета снаряда с постоянной начальной скоростью, которая в данном случае неприемлема, так как в момент соприкосновения с наклонной плоскостью вектор скорости падения V_0 составляет угол α_0 с нормалью к этой плоскости, равный углу наклона рабочей поверхности φ (рис. 2). Таким образом, при первом ударе частицы о плоскость угол падения $\alpha_0 = \varphi$.

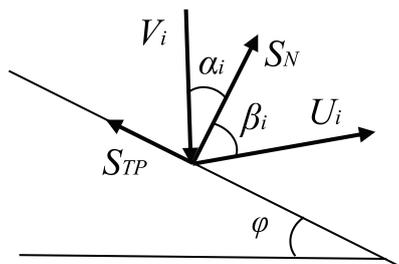


Рис. 2. Кинематические и силовые параметры частицы при ударе

Величину скорости после удара U_i и угол отражения β_i при произвольном ударе « i » можно найти из системы уравнений, определяющих коэффициенты восстановления и трения при ударе, а также уравнений теоремы об изменении количества движения [5]:

$$\begin{cases} mU_i \cdot \cos \beta_i + mV_i \cdot \cos \alpha_i = S_N, \\ mU_i \cdot \sin \beta_i - mV_i \cdot \sin \alpha_i = -S_{TP}, \end{cases} \quad (3)$$

где m – масса частицы, кг; S_N, S_{TP} – составляющие ударного импульса, Нс; V_i – скорость частицы перед i -м ударом о рабочую поверхность, м/с.

При этом коэффициент восстановления

$$k = \frac{U_i \cos \beta_i}{V_i \cos \alpha_i}. \quad (4)$$

Учитывая гипотезу Рауса [6], что ударный импульс трения равен произведению коэффициента трения на ударный нормальный импульс (т.е. направленный по нормали) $S_{TP} = fS_N$, получим выражение отношения ударных реакций.

Решая систему уравнений (3)–(4), получаем

$$\beta_i = \arctg \left[\frac{1}{k} (\operatorname{tg} \alpha - f) - f \right]; \quad (5)$$

$$U_i = \frac{V_i}{\sin \beta_i} [\sin \alpha_i - f(1+k) \cdot \cos \alpha_i]. \quad (6)$$

После отражения частицы от наклонной поверхности происходит ее свободный полет. Если пренебречь силами сопротивления движению, уравнения свободного полета в системе координат, связанной с обогатительной плоскостью, можно получить из соотношений кинематики равномерного движения [5]: так как $a_x = g \sin \varphi$; $a_y = -g \cos \varphi$, то эти уравнения имеют вид

$$\begin{cases} x = x_i + U_i \sin \beta_i \cdot t + \frac{1}{2} g \sin \varphi \cdot t^2, \\ y = U_i \cos \beta_i \cdot t - \frac{1}{2} g \cos \varphi \cdot t^2, \end{cases} \quad (7)$$

где t – текущее время, которое определяется следующим образом:

$$t = \frac{2U_i \cos \beta_i}{g \cos \varphi}. \quad (8)$$

Дальность полета l_i вдоль поверхности грохота до следующего удара находим, исключив из системы уравнений (7) параметр t при условии, что $y = 0$:

$$l_i = \frac{2U_i^2 \cos \beta_i}{g \cos \alpha} (\sin \beta_i + \operatorname{tg} \varphi \cos \beta_i). \quad (9)$$

Таким образом, получена истинная зависимость между дальностью полета рудной частицы и углом наклона обогатительной плоскости, дифференцируя которую и установив угол наклона плоскости, соответствующий максимальной дальности вылета частиц горных пород, далеко отличающийся от значения, приводимого Н.К. Тимченко.

Список литературы

1. Методика определения упругих и фрикционных характеристик сыпучих материалов / Е.Ф. Цыпин, С.А. Ляпцев, А.И. Афанасьев, В.Я. Потапов // Известия вузов. Горный журнал. – 1998. – № 5–6. – С. 103–108.
2. Тимченко Н.К. Основы механического разделения зерен щебня и гравия по упругости и трению // Строительные материалы. – 1964. – № 4. – С. 147.
3. Ляпцев С.А., Афанасьев А.И., Чиркова А.А. Резонансные вибротранспортные машины для сыпучих материалов. – Германия: Lambert Academic Publishing, 2014. – 188 с.
4. Заика П.М. Вибрационные зерноочистительные машины. – М.: Машиностроение, 1967. – 144 с.
5. Вебер Г.Э., Ляпцев С.А. Дополнительные главы механики для горных инженеров. – Екатеринбург: УГИ, 1989. – 200 с.
6. Пановко Я.Г. Введение в теорию удара. – М.: Наука, 1977. – 224 с.
7. Мещерский И.В. Сборник задач по теоретической механике. – М.: Наука, 1973. – 447 с.

References

1. Technique of definition of elastic and frictional characteristics of bulks / E.F. Tsyipin, S.A. Lyaptsev, A.I. Afanasev, V.Y. Potapov // News of higher education institutions. Mountain magazine. 1998. no. 5–6. pp. 103–108.
2. Timchenko N.K. Bases of mechanical division of grains of crushed stone and gravel on elasticity and friction // Construction materials. 1964. no. 4. pp. 147.
3. Lyaptsev S.A., Afanasev A.I., Chirkova A.A. Resonant vibrotransport vehicles for bulks. Germany: Lambert Academic Publishing. 188 p.
4. Zaika P.M. Vibration zernoochistitelny cars. M.: Mechanical engineering, 1967. 144 p.
5. Veber G.E., Lyaptsev S.A. Additional heads of mechanics for mining engineers. Ekaterinburg: UGI, 1989. 200 p.
6. Panovko Y.G. Introduction to the theory of blow. M.: Science, 1977. 224 p.
7. Mescherskiy I.V. Collection of tasks of theoretical mechanics. M.: Science, 1973. 447 p.

Рецензенты:

Воротников В.И., д.ф.-м.н., профессор, заместитель директора по науке и инновациям, ФГБОУ ВПО «Нижнетагильский технологический институт (филиал) УрФУ» Министерства образования и науки Российской Федерации, г. Нижний Тагил;

Красовский А.Н., д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой информационных технологий и математического моделирования, ФГБОУ ВПО «Уральский государственный аграрный университет», г. Екатеринбург.

Работа поступила в редакцию 27.12.2014.