

Моделирование технико-экономических показателей при дезинтеграции горных пород в щековых дробилках

И. А. Воронин, А. М. Крупко, П. О. Щукин, О. Н. Галактионов, Ю. В. Суханов, А. С. Васильев

Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск

На сегодняшний день измельченные материалы горных пород лежат в основе строительной и дорожной отрасли. Дезинтеграция горных пород – энергозатратное производство. Снижение энергозатрат на измельчение горных пород является довольно актуальной проблемой, решение которой требует создания новых аналитических методов и разработки новых технологических схем [1].

Несмотря на серьезный вклад таких ученых, как Ф. С. Бонд, Г. Г. Егоров, В. Л. Кирпичев, Л. В. Риттингер в изучение теории дробления горных пород, задача оптимизации энергозатрат на дезинтеграцию горных пород окончательно не решена [2, 3].

Одним из современных методов, позволяющих оптимизировать энергозатраты на реализацию технологического процесса дробления горных пород, является создание математических и имитационных моделей, позволяющих спрогнозировать, а затем и минимизировать затраты на дезинтеграцию горных пород.

Создание новых методов и алгоритмов нахождения оптимальных решений позволит осуществить комплексный подход к управлению материальными потоками в горнопромышленном комплексе страны. Комплексный подход к решению поставленной задачи обеспечивается созданием математической и имитационной моделей, тесно взаимосвязанных

между собой: результаты математической модели послужат входными данными к имитационной.

В ходе исследования разрабатывается математическая модель, предназначенная для прогнозирования технико-экономических показателей и обоснования оптимального сочетания технических решений при дезинтеграции горных пород с целью минимизации энергозатрат на реализацию заданного технологического процесса.

На первом этапе построения разрабатываемой математической модели приведем содержательное описание моделируемой системы.

Объектом моделирования является технологический процесс дезинтеграции горных пород, происходящий в щековой дробилке. В качестве предмета дробления выступают горные породы различных генетических типов $i, i \in I$, в том числе:

а) гранитов; б) габбро-диабазов; в) гнейсов.

Каждая порода $i, i \in I$ характеризуется следующими параметрами:

P_i – предел прочности на сжатие горной породы $i, i \in I$, МПа;

L_i^{\max} – максимальный габарит горной породы $i, i \in I$, м;

k_i – фракция горной породы $i, i \in I$;

$k_{\delta\delta}^i$ – коэффициент трения между щекой и породой горной породы $i, i \in I$, возникающий в камере дробления.

В ходе моделирования введем ряд допущений, позволяющий управлять рассматриваемыми технико-экономическими показателями с целью оптимизации технологического процесса.

В процессе измельчения горная порода $i, i \in I$ направляется в пространство между щеками дробилки, состоящая из отдельных частиц горной породы [4, 5].

В качестве допущения в ходе исследования будем рассматривать эти частицы породы $i, i \in I$ как одно целое эллипсоидной формы, имеющее максимальный габарит L_i^{\max} .

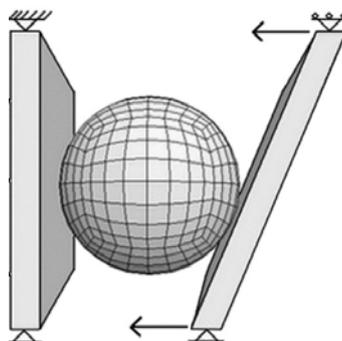


Рис. 2 Горная порода сферической формы, помещенная в камеру щековой дробилки

Рассмотрение частиц горной породы как единого тела с однородными физико-механическими свойствами позволит выявить общие результирующие зависимости между горной породой и режимом и параметрами работы дробильной установки [6].

Параметрами щековой дробильной установки служат следующие характеристики:

V_k^{\max} – максимальный объем камеры дробления щековой дробилки, м^3 ;

V_k^{\min} – минимальный объем камеры дробления щековой дробилки, м^3 ;

$S_{\text{вых}}$ – ширина выходной щели щековой дробилки, определяющая фракцию k_i

A_i – амплитуда колебания щековой дробилки, м;

n_i – частота вращения приводного вала щеки дробилки, об/с;

$N_{\text{дв}}$ – установленная мощность двигателя щековой дробилки, кВт;

m_i – масса щеки щековой дробилки, кг;

S_k – общая площадь контакта щеки щековой дробилки с горной массой породы $i, i \in I$, м^2 .

Завершением технологического процесса дезинтеграции горной породы $i, i \in I$ щековой дробилкой является множество полуфабрикатов фракций k_i горной массы породы $i, i \in I$ удельной себестоимости S_k^i . Наличие полуфабрикатов в технологическом процессе дезинтеграции горной породы $i, i \in I$ обуславливается тем, что процесс измельчения горной породы в щековой дробилке не является заключительным, а лишь служит промежуточным звеном в общем цикле производства щебня фракции k_i горной массы породы $i, i \in I$.

Удельная себестоимость S_k полуфабриката горной породы $i, i \in I$ фракции k определяется как сумма следующих затрат:

$S_{ei\bar{e}\bar{a}}$ – затраты на закупку, содержание и ремонт оборудования, необходимого для совершения технологического процесса дезинтеграции горных пород $i, i \in I$

S_{ci} – затраты на выплату заработной платы работникам, задействованным в рассматриваемом технологическом процессе;

$S_{yi\bar{a}\bar{d}\bar{a}}$ – затраты на электроэнергию, потребляемую оборудованием для дезинтеграции горной породы $i, i \in I$

$S_{\bar{a}i}$ – затраты на расходные материалы, необходимые для эффективной работы дробильного оборудования;

$S_{\bar{n}\bar{a}\bar{d}\bar{a}\bar{y}}$ – стоимость единицы объема горной породы $i, i \in I$, которая является с одной стороны сырьем для щековой дробилки, поступающим в камеру дробления, а с другой стороны результатом технологического процесса дезинтеграции горного массива, характеризующегося условиями образования и определёнными инженерно-геологическими свойствами слагающих его горных пород.

Таким образом, удельная себестоимость S_i^k полуфабриката горной породы $i, i \in I$ фракции k определяется как сумма затрат на закупку, содержание и ремонт оборудования, необходимого для совершения технологического процесса дезинтеграции горных пород, затрат на выплату заработной платы работникам, задействованным в рассматриваемом технологическом процессе, затрат на электроэнергию, потребляемую оборудованием для дезинтеграции горной породы $i, i \in I$, затрат на расходные материалы, необходимых для эффективной работы дробильного оборудования, и затрат на приобретения сырья для щековой дробилки.

Затраты на приобретение сырья для щековой дробилки определяются как сумма по всем горным породам $i, i \in I$ произведений стоимости единицы объема горной породы $i, i \in I$ на объем $i, i \in I$ породы, помещенный в камеру дробления за время t .

На следующем этапе построения математической модели дезинтеграции горных пород в щековой дробилке перейдем от выявления и анализа исходного множества характеристик моделируемой системы к определению множеств индексов, параметров и переменных рассматриваемой модели [7].

Каждый параметр рассматриваемой системы имеет ограничения в связи с вещественным составом, текстурно-структурными особенностями и физико-механическими свойствами горных пород и технико-экономическими показателями технологического процесса переработки горных пород.

Построим целевую функцию математической модели. Для оптимизации рассмотренного выше технологического процесса необходимо минимизировать затраты на производство полуфабрикатов фракции k в рамках рассматриваемого периода времени t при условии, что доля отсева

$$\frac{V_i^t}{W_i^k} < c_i \quad (1)$$

не превышает заданного значения для данной горной породы $i, i \in I$.

Целевая функция математической модели примет следующий вид:

$$\begin{cases} \sum_i \sum_k v_i^t s_i^k \rightarrow \min \\ \frac{V_i^t}{W_i^k} < c_i \end{cases} \quad (2)$$

Адекватность математической модели обуславливается наличием моделирования технико-экономических показателей, совместимых с показателями работы промышленного предприятия [8, 9].

Моделирование данных показателей не противоречит основным законам теории разрушения твердого тела. Использование теории дифференциальных уравнений при описании движения подвижной щеки в ходе дезинтеграции горных пород в щековой дробилке позволит найти оптимальные параметры и режимы движения двигателя щековой дробилки [10].

Применение методов оптимизации и теории исследования операций приведет к минимизации удельной себестоимости S_i^k полуфабриката горной породы $i, i \in I$ фракции k при условии минимизации доли отсева, возникающей при дезинтеграции горной породы щековой дробилкой. Минимизация удельной себестоимости полуфабриката происходит за счет оптимальных режимов и параметров работы двигателя, приводящего в движение подвижную щеку дробилки, за счет траектории движения подвижной щеки, а также за счет оптимальной ширины разгрузочной щели. Все указанные параметры зависят от горной породы и изменяются с течением определенного периода времени.

Результаты действия поставленной математической модели позволят минимизировать затраты на осуществление технологического процесса дезинтеграции горных пород. Для дальнейшего исследования,

охватывающего весь технологический процесс от дезинтеграции горного массива до поставки измельченной горной породы потребителю, необходимо разработать комплекс, состоящий из математических и имитационных моделей, а также программный модуль, его визуализирующий.

Литература

1. Макаров А. В. Исследование процесса разрушения горных пород щековыми дробильными машинами и разработка методов совершенствования их конструкций: дисс. на соиск. учен. степ. – Томск, 2004 – С. 97.
 2. Бонд Ф.С. Законы дробления // Труды Европейского совещания по измельчению.- М., 1966. -С. 203.
 3. Теория и практика дробления и тонкого измельчения / под ред. Г.Г. Егорова. – Новосибирск. – Гос. науч.- тех. горн, из-во. JL ,1942. –С. 176.
 4. Bearman R.A., Briggs C.A., Kojovic T. The application of rock mechanics parameters to the prediction of comminution behavior. Miner. Eng. 10 (3), – 1997, p. 260.
 5. Van Nierop M.A., Glover G., Hinde A.L., Moys M.H., A discrete element method investigation of the charge motion and power draw of an experimental twodimensional mill. Int. J. Miner. Process, 61, – 2001, p. 84.
 6. Refahi A., Aghazadeh Mohandesi J., Rezai B. Discrete element modeling for predicting breakage behavior and fracture energy of a single particle in a jaw crusher: International Journal of Mineral Processing, 94 (2010) p. 87.
 7. Крупко А. М. Исследования направлений повышения эффективности автомобильного транспорта леса // Инженерный вестник Дона, 2012, № 2 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/984
 8. Шегельман И. Р. Рециклинг отходов: актуальность возрастает // Инженерный вестник Дона, 2015, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2479
-

9. Шегельман И.Р., Щукин П.О., Галактионов О.Н., Суханов Ю.В., Васильев А.С., Крупко А.М. К разработке имитационной модели процесса функционирования дробильных технологических систем // Материалы республиканской научно-практической конференции «Инновации в промышленности и социальной сфере». Петрозаводск, 2015. С. 16-17.

10. Шегельман И.Р., Васильев А.С., Щукин П.О., Галактионов О.Н., Суханов Ю.В. Рециклинг отходов: проблемы и решения // Материалы республиканской научно-практической конференции «Наука, образование, инновации в приграничном регионе». Петрозаводск, 2015. С. 13-15.

References

1. Makarov A. V. Issledovanie protsessa razrusheniya gornykh porod shchekovymi drobil'nymi mashinami i razrabotka metodov sovershenstvovaniya ikh konstruktsiy [Investigation of the process of destruction of rock jaw crusher and development of methods of improving their designs]: diss. na soisk. uchen. step. Tomsk, 2004. p. 97.
2. Bond F.S. Zakony drobleniya. Trudy Evropeyskogo soveshchaniya po izmel'cheniyu. M., 1966. p. 203.
3. Teoriya i praktika drobleniya i tonkogo izmel'cheniya. [Theory and practice of crushing and fine grinding] pod red. G.G. Egorova. Novosibirsk. Gos. nauch.-tekh. gorn, iz-vo. JL, 1942. p. 176.
4. Bearman R.A., Briggs C.A., Kojovic T. The application of rock mechanics parameters to the prediction of comminution behavior. Miner. Eng. 10 (3), 1997, p. 260.
5. Van Nierop M.A., Glover G., Hinde A.L., Moys M.H., A discrete element method investigation of the charge motion and power draw of an experimental twodimensional mill. Int. J. Miner. Process, 61, 2001, p. 84.



6. Refahi A., Aghazadeh Mohandesi J., Rezai B. Discrete element modeling for predicting breakage behavior and fracture energy of a single particle in a jaw crusher: International Journal of Mineral Processing, 94 (2010) p. 87.
7. Krupko A. M. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, № 2 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/984
8. Shegel'man I. R. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2479
9. Shegel'man I.R., Shchukin P.O., Galaktionov O.N., Sukhanov Yu.V., Vasil'ev A.S., Krupko A.M. Materialy respublikanskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Innovatsii v promyshlennosti i sotsial'noy sfere». Petrozavodsk, 2015. pp. 16-17.
10. Shegel'man I.R., Vasil'ev A.S., Shchukin P.O., Galaktionov O.N., Sukhanov Yu.V. Materialy respublikanskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Nauka, obrazovanie, innovatsii v prigranichnom regione». Petrozavodsk, 2015. pp. 13-15.