

УДК 621.926.5:001.891.57

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ В БАРАБАННОЙ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ

Козырь А.В., Кутлубаев И.М., Попова Т.М., Пыталев И.А.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, Магнитогорск, Россия

Аннотация. В работе предложено использование имитационной модели для определения параметров работы шаровой мельницы, прототипом которой послужила лабораторная установка. Представлены результаты для каскадного, водопадного и критического режима работы шаровой мельницы, полученные при физическом и имитационном моделировании. На основе выявленных результатов обосновано отклонение данных моделирования, что доказывает адекватность разработанной имитационной модели.

Ключевые слова: лабораторная установка, моделирование, имитационная модель, режимы работы шаровой мельницы, режимы движения, каскадный, водопадный.

Введение

Подготовка руд к обогащению предполагает измельчение материалов. С целью получения заданной крупности твердых материалов в горной промышленности наибольшее распространение получили барабанные мельницы, используемые как для грубого, так и тонкого помола [1]. Рабочими элементами этих мельниц являются мелющие тела в виде шаров и цилиндров [2]. Процесс измельчения является энерго- и материалоемким, так при обогащении полезных ископаемых энергетические затраты на данный процесс составляют 40–70% от общих расходов обогатительной фабрики [3–6]. В связи с этим снижение затрат в значительной степени на измельчение является важной и актуальной задачей. Величина эксплуатационных затрат зависит от режима работы мельницы, характеристик измельчаемого материала, формы мелющих тел, типа мельницы и др. [7].

Основная часть

Определение рациональных параметров процесса измельчения, как правило, проводится на основе экспериментов, выполняемых на лабораторных установках. Несмотря на то, что выполнение экспериментов осуществляется в лабораторных установках, их проведение требует существенных затрат. Снижение затрат на определение рациональных параметров может быть достигнуто за счет компьютерного моделирования процесса измельчения в шаровой мельнице. С этой целью была разработана имитационная модель работы шаровой мельницы с использованием программного обеспечения 3D-САПР Autodesk Inventor Professional [8]. Модель позволяет варьировать скоростными режимами, футеровкой барабана и формой мелющих тел.

В качестве прототипа имитационной модели использована лабораторная установка по определению режимов работы шаровой мельницы (рис. 1).



Рис. 1. Лабораторная установка

В качестве исходных параметров в имитационной модели использовались параметры, совпадающие с параметрами лабораторной установки:

1. Барабан мельницы – диаметр 0,18 м, длина барабана 0,22 м.
2. Мелющее тело – шар стальной мелющий диаметр 8 мм [9].
3. Скорость вращения – 0-300 об/мин.
4. Коэффициент заполнения – 24% (допустимая величина при работе мельниц [10]).
5. Коэффициент трения в рамках системы барабан - мелющее тело принят 0,8.

Фронтальный вид и изометрическая проекция имитационной модели представлены на рис. 2.

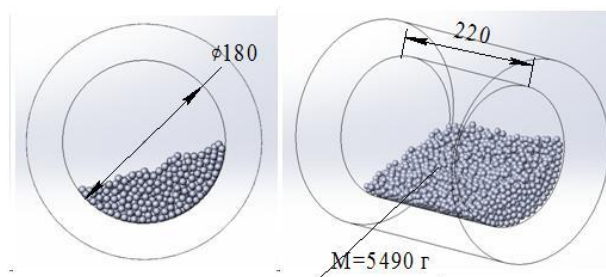


Рис. 2. Фронтальный вид и изометрическая проекция имитационной модели

Построение модели в среде 3D-САПР Autodesk Inventor Professional основано на воссоздании замкнутого цилиндрического пространства, которым в реальной модели является полость барабана, с последующим заполнением его мелющими телами. Пространственная ориентация барабана в модели обеспечивается ограничением степеней свободы по всем направлениям кроме оси вращения. Мелющими телами в лабораторной установке являются шары, поэтому в имитационной модели был создан массив элементов с геометрической формой шара диаметром 8 мм. Пространственное положение мелющих тел определяется контактом друг с другом и внутренней поверхностью барабана.

На первом этапе для проверки соблюдения условий соответствия работы функционирования модели и лабораторной установки в имитационной модели измельчаемая среда отсутствовала.

Моделирование работы шаровой мельницы производилось для частот вращения барабана в диапазоне от 54 до 204 об/мин с заданным временем работы на определенной скорости. Исследование проводилось на установившихся режимах работы, которые задаются частотой вращения барабана лабораторной установки.

Полученные результаты моделирования для каскадного, водопадного режима и критической скорости вращения барабана были сопоставлены с результатами, полученными на лабораторной установке (рис. 3).

Сравнительный анализ полученных результатов компьютерного моделирования и лабораторной установки показал, что разработанная имитационная модель имеет высокую степень сходимости: для каскадного режима при скорости вращения 54 об/мин угол отрыва мелющих тел на лабораторной установке составляет 34.87° в имитационной модели – 34.00° , для водопадного режима при скорости вращения 164,7 об/мин угол отрыва мелющих тел на лабораторной установке составляет 43.54° , в имитационной модели – 43.18° , при критической скорости вращения 204,6 об/мин угол отрыва мелющих тел на лабораторной установке составляет 44.20° , в имитационной модели – 43.91° . Отклонение результатов, полученных в результате физического моделирования, от результатов имитационного моделирования в среднем составляет 1%.

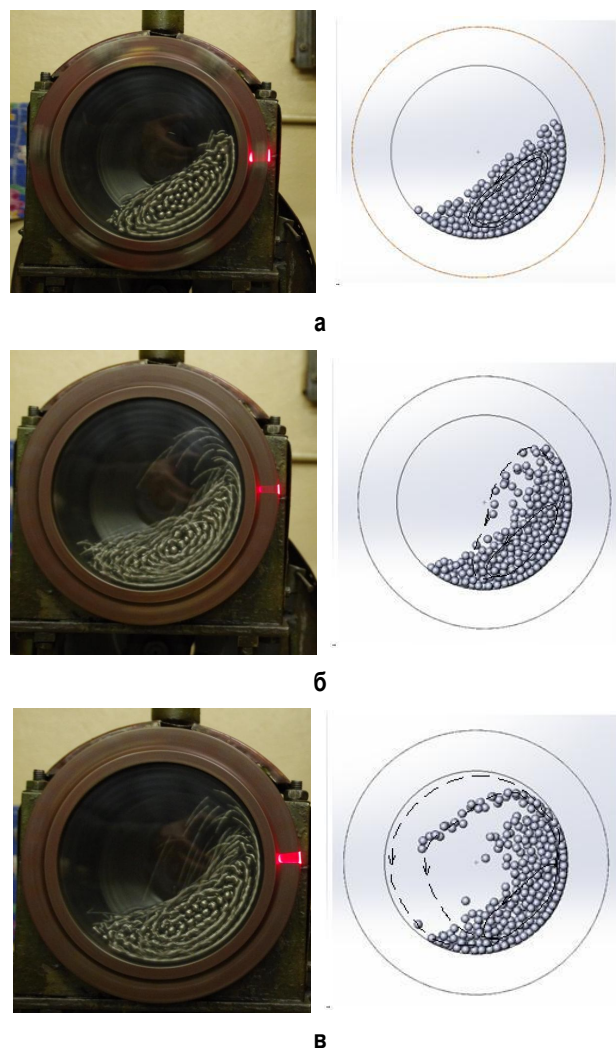


Рис. 3. Результаты, снятые с лабораторной установки, и результаты моделирования: а – скорость вращения 53,3 об/мин, режим – каскадный; б – скорость вращения 164,7 об/мин, режим – водопадный; в – скорость вращения – критическая, 204,6 об/мин

Заключение

Проведенные эксперименты подтвердили адекватность имитационной модели, что позволяет использовать ее для исследования процесса измельчения в мельницах вместо физического моделирования. Имитационная модель является инструментом для анализа работы барабанной мельницы с применением мелющих тел различной формы. Так же с помощью созданной модели возможно определение рациональных параметров работы шаровой мельницы при различных режимах работы с мелющими телами различных форм.

Список литературы

1. Monov V., Sokolov B., Stoenchev St. Grinding in Ball Mills: Modeling and Process Control // *Cybernetics and information technologies*. 2012. V. 12. №2. P. 51–68.
2. Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий/ под общ. ред Г.М. Островского. Ч. I. СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2004. 848 с.
3. Цыгалов А.М., Елисеев Н.И., Гришин И.А. Дробление, измельчение и подготовка руд к обогащению: учеб. пособие. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2005. 170 с.
4. Новый подход для оценки эффективности работы горно-обогатительных комбинатов / Мельников И.Т., Гавришев С.Е., Михайлов А.Г., Пыталев И.А., Шевцов Н.С., Васильев К.П. // *Горная промышленность*. 2012. №5. С.60–66
5. Abanti Sahoo, Simulation studies on Energy Requirement, Work Input and Grindability of Ball Mill/ *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 2014. V. 4. №2 P. 592–597.
6. Шадрюнова И.В., Кутлубаев И.М., Колодежная Е.В. Анализ силового взаимодействия при разрушении породы в дробилках ударного действия // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2008. №2. С. 9–12.
7. Дмитрак Ю.В., Балахнина Е.Е. Особенности движения мелющей загрузки в шаровой барабанной мельнице // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2003. №2. С. 54–57.
8. Строгалев В.П., Толкачева И.О. Имитационное моделирование: учеб. пособие. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 280 с.
9. ГОСТ 7524-89. Шары стальные мелющие для шаровых мельниц. Введ. 1990-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1990. 4 с.
10. Дуда В. Цемент / пер. с нем. Е.Ш. Фельдмана; под ред. Б.Э. Юдовича. М.: Стройиздат, 1981. 464 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

SIMULATION MODELING OF THE PROCESS OF MOVING OF GRINDING BODIES IN A BALL MILL

Kozyr Aleksandr Valerievich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Phone: +7 (3519) 29-85-74. E-mail: kozyr_a@inbox.ru.

Kutlubaev Ildar Mukhametovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Phone: +7 (3519) 29-85-74. E-mail: ptmr74@mail.ru.

Popova Tamara Maksimovna – M. S. Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Phone: +7 (3519) 29-85-74. E-mail: t.m-popova@yandex.ru.

Pytalev Ivan Alekseevich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Phone: +7 (3519) 29-85-56. E-mail: Vehicle@list.ru.

Abstract. This article proposes using a simulating model to determine the operating parameters of the ball mill. A prototype model was a laboratory-scale plant. The authors presented results for cascade, waterfall operating modes, and the critical speed of the ball mill which were effects of physical simulation and simulation modeling. The findings justified a deviation of the modeling data, which proved that the developed simulating model was appropriate.

Keywords: Laboratory-scale plant, modeling, simulating model, ball mill operating modes, modes of motion, cascade, waterfall.

References

1. Monov V., Sokolov B., Stoenchev St., Grinding in Ball Mills: Modeling and Process Control. *Cybernetics and information technologies*. 2012, vol. 12 no. 2, pp. 51-68.
2. *Novy spravochnik khimika i tekhnologa. Protsessy i apparaty khimicheskikh tekhnologiy. Pod. obsch. red G.M. Ostrovskogo. Ch.I.* [New reference book of chemists and technologists. Processes and devices of chemical engineering. Under the general editorship of G.M. Ostrovsky. P.I.]. Saint Petersburg: ANO NPO Professional, 2004, 848 p.
3. Tsygalov A.M., Eliseev N.I., Grishin I.A. *Droblenie, izmelchenie i podgotovka rud k obogashcheniyu. Uchebnoe posobie* [Ore crushing, grinding, and preparation for dressing]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2005, 170 p.
4. Melnikov I.T., Gavrishov S.E., Mikhailov A.G., Pytalev I.A., Shevtsov N.S., Vasilev K.P. A new approach to performance assessment of mining and processing works. *Gornaya promyshlennost* [Mining]. 2012, no. 5, pp. 60-66.
5. Abanti Sahoo, Simulation studies on Energy Requirement, Work Input and Grindability of Ball Mill. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 2014, vol. 4, no. 2, pp. 592-597.
6. Shadrinova I.V., Kutlubaev I.M., Kolodezhnaya E.V. Evaluation of force impact when crushing rock in impact grinders. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im.G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2008, no. 2, pp. 9-12.
7. Dmitrak Yu.V., Balakhnina E.E. Peculiarities of movements of grinding charge in ball mills. *Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)* [Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)], 2003, no. 2, pp. 54-57.
8. Strogalev V.P., Tolkacheva I.O. *Imitatsionnoe modelirovanie. Uchebnoe posobie* [Simulation modelling. Learning aid]. Moscow: Bauman MSTU, 2008, 280 p.
9. GOST 7524-89. Shary stalnye melyushchie dlya sharovykh melnits [Steel grinding balls for ball mills]. Moscow: Publishing house of standards, 1990, 4 p.
10. Duda V. *Tsement* [Cement]. Translated from German by E.Sh. Feldman; edited by B.E. Yudovich. Moscow: Stroyizdat, 1981, 464 p.

Имитационное моделирование процесса движения мелющих тел в барабанной шаровой мельнице / Козырь А.В., Кутлубаев И.М., Попова Т.М., Пыталев И.А. // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2015. №3. С. 75–77.

Kozyr A.V., Kutlubaev I.M., Popova T.M., Pytalev I.A. Simulation modeling of the process of moving of grinding bodies in a ball mill. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2015, no. 3, pp. 75–77.