

В.А. Бобин, А.А. Грабский, А.В. Бобина, А.В. Покаместов
ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ ГИРОСКОПИЧЕСКИХ
И ГРАВИТАЦИОННЫХ СИЛ
ПРИ СОЗДАНИИ УСИЛИЙ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ
ТВЕРДЫХ ГОРНЫХ ПОРОД
В ТЕРОЧНЫХ МЕЛЬНИЦАХ*

Разработан метод использования гироскопических сил как альтернативы гравитационным силам для создания усилий разрушения горных пород с помощью двухступенного гироскопа. При этом установлено, что гироскопическая сила является функцией пяти параметров, три из которых являются постоянными конструктивными параметрами, два остальные являются технологическими и могут изменяться в ходе процесса истирания горных пород. Кроме того, показано, что влияние гравитационных сил на процесс создания усилий разрушения в гироскопической мельнице за счет гироскопических сил значительно снижено, и в этом смысле достигнута их эквивалентность для дезинтеграции твердых материалов в терочных мельницах. Ключевые слова: гироскопическая сила, гравитация, разрушение твердых материалов, гироскопическая мельница.

Физическую основу подавляющего числа различных технологических разработок и реализующих их машин и механизмов определяет соответствующий им принцип реализации сжимающих или растягивающих усилий.

В частности, в горном деле широко используются сила тяжести (при бурении скважин и разрушении геоматериалов в дробилках и мельницах), усилия пружинных блоков, а также сила сжатой жидкости (прессовые установки).

Применяемые в промышленности способы разрушения твердых горных пород обладают малым к.п.д. (не более 3–5%), требуют высоких энергозатрат и характеризуются большими весовыми показателями.

Таким образом, снижение этих высоких показателей и увеличение эф-

фективности определяют актуальность и необходимость разработки новых способов разрушения горных пород и устройств их реализующих.

С методической точки зрения существенного результата в этой области можно достичь только за счет использования принципиально новых физических эффектов по созданию усилий разрушения горных пород, а также машин и механизмов их эффективно реализующих.

В работе [1] показано, что основной недостаток существующих устройств по разрушению горных пород истиранием заключается в том, что в них сила тяжести рассматривается, как панацея современной техники дезинтеграции горных пород. Действительно, сила истирания $F_{\text{истр}} = k \cdot N$ зависит лишь от коэффициента трения (k) между

* Работа выполнялась в рамках госконтракта № 16.515.12.5010 от 11 октября 2011 года Министерства образования и науки Российской Федерации по теме «Разработка метода дезинтеграции горных пород на основе гироскопического эффекта».

горной породой и рабочим органом и силы нормального давления (N), с которой рабочий орган прижимается к размольному столу, а под ней традиционно видят лишь силу тяжести. Известно, что сила тяжести определяется лишь массой рабочего органа и величиной ускорения свободного падения ($N = P = m \cdot g$), поэтому традиционно для того, чтобы изменить усилие истирания приходилось изменять массу рабочего органа, что приводило лишь к увеличению массы и габаритов всего устройства для дезинтеграции горных пород. Причем в процессе измельчения изменять усилие истирания было невозможно, т.к. масса рабочего органа являлась постоянной величиной.

Конструктивное решение, используемое в обычной терочной мельнице [2], позволяет несколько увеличить силу нормального давления за счет гироскопической силы, но не решает проблему кардинально, т.к. вклад этих сил не превышает 50–80% от веса рабочего органа этой мельницы. Значение силы нормального давления определяется выражением

$$N = P + F_{\text{гир}} = m \cdot g + F_{\text{гир}} \quad (1)$$

Суть же кардинального решения проблемы состоит в том, чтобы в балансе гироскопических сил и сил тяжести значительно снизить значение последних, что математически выражается неравенством вида

$$P \ll F_{\text{гир}} \quad (2)$$

Однако, увеличить роль гироскопических сил в терочных мельницах возможно, если кардинально изменить конструкцию этого устройства, а именно: жесткую связь между осью силового привода вала и осью рабочего органа заменить на шарнирную, а на продолжении оси рабочего органа расположить специальное устройство – источник гироскопической силы. В качестве такого устройства используется,

например, цилиндрический маховик, вращающийся вокруг продолжения оси рабочего органа с помощью специального электрического двигателя. Вместе они представляют собой двухступенный гироскоп [3].

В результате вращения маховика вокруг продолжения оси рабочего органа, а также вращения рабочего органа и маховика вокруг оси силового привода возникает гироскопический момент, величина которого определяется моментом инерции маховика (J), величиной угловой скорости маховика (ω) и угловой скорости вращения горизонтальной площадки, на которой установлен гироскоп, вокруг оси силового привода (Ω), причем угол между векторами этих угловых скоростей составляет 90° ($M_{\text{гир}} = J \cdot \omega \cdot \Omega$), а сила нормального давления рабочего органа на горную породу, расположенную на размольном столе, будет

$$N = P \pm F_{\text{гир}} = P \pm M_{\text{гир}}/L = \\ = P \pm J \cdot \omega \cdot \Omega/L \quad (3)$$

где L – расстояние между осью силового привода и рабочим органом.

Таким образом, эта формула показывает, что требуемое значение силы нормального давления, а, следовательно, и требуемое усилие истирания горной породы определяется не только весом рабочего органа, но и значением гироскопической силы. При этом если вес рабочего органа в процессе работы остается постоянным, то значение гироскопической силы можно изменять в широких пределах не только по величине, но и по направлению, что достигается изменением величины и направления угловых скоростей. Этот факт указывает на то, что при создании усилия истирания значение веса рабочего органа за счет второго слагаемого может стать незначительным.

Кроме того, по сравнению со всеми другими аналогичными горными ма-

пинами это конструктивное решение позволяет независимо изменять угловые скорости ω и Ω , а, следовательно, и величину силы давления рабочего органа на размольный стол, и усилия истирания в ходе рабочего процесса уже в гироскопической мельнице, что также позволяет экономить энергию, затрачиваемую на разрушение горных пород.

Оценка значения сил, входящих в формулу (3), для экспериментального образца гироскопической мельницы [3], прототипом которой является терочная мельница, показывает, что $P = m_{\text{валка}} \cdot g = 0,01 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 = 0,1 \text{ Н}$, а $F_{\text{гир}}$ вычисляется по формуле

$$F_{\text{гир}} = J_{\text{макс}} \cdot \omega \cdot \Omega \cdot L = (m_{\text{макс}} \cdot R_{\text{макс}}^2 / 2) \cdot \omega \cdot \Omega / L \quad (4)$$

где $m_{\text{макс}}$ и $R_{\text{макс}}$ соответственно масса и радиус маховика гироскопа. Согласно формуле (4) гироскопическая сила является функцией пяти параметров, три из которых, а именно: масса маховиков, их радиус и расстояние от центра рабочего органа до шарнира, являются постоянными конструктивными параметрами, а угловые скорости вращения маховиков и горизонтальной площадки являются технологическими и могут изменяться в ходе процесса истирания горных пород за счет изменения скорости вращения соответствующих электродвигателей.

Расчеты показывают, что для значений $m_{\text{макс}} = 0,02 \text{ кг}$, $R_{\text{макс}} = 0,01 \text{ м}$,

$L = 0,05 \text{ м}$, а $\omega = 400 \text{ с}^{-1}$ и $\Omega = 40 \text{ с}^{-1}$, соответствующих параметрам гироскопической мельницы, $F_{\text{гир}} = 0,32 \text{ Н}$, что в 3,3 раза больше веса рабочего органа.

Реальное увеличение всех параметров, кроме L , входящих в формулу для гироскопической силы, всего в два раза, приведет к увеличению гироскопической силы в 32 раза до величины 10,24 Н. При этом отношение $F_{\text{гир}}/P = 10,24/0,1 = 102,4$, а $P \ll F_{\text{гир}}$.

Таким образом, влияние веса рабочего органа (гравитационных сил) на процесс создания усилий разрушения в гироскопической мельнице будет значительно снижено. И в этом смысле будет достигнута эквивалентность гироскопических и гравитационных сил при создании усилий дезинтеграции твердых материалов в терочных мельницах.

Значение достигнутого результата иллюстрируют сравнительные данные по всему перечню параметров серийно выпускаемых дисковых измельчителей (ИД) и экспериментального образца гироскопической мельницы (ГМ), представленные в таблице.

Данные таблицы показывают, что эффективность работы гироскопической мельницы в 23 раза, а удельная эффективность на три порядка величины больше, чем у дисковых истирателей аналогичного назначения.

Кроме того, они позволяют заключить, что использование принципиально нового гироскопического эф-

| Параметры | ИД-130 | ИД-175 | ИД-250 | ЛДИ-65 | ГМ |
|---|--------|--------|--------|--------|-------|
| Исходная крупность породы, мм | до 3 | до 10 | до 10 | до 2 | до 10 |
| Конечная крупность породы, мм | 0,044 | 0,05 | 0,08 | 0,05 | 0,06 |
| Q, кг/ч | 8 | 20 | 40 | 1 | 23 |
| N, кВт | 1,1 | 1,5 | 5,5 | 0,37 | 0,075 |
| m, кг | 55 | 80 | 160 | 17 | 5 |
| $\Theta = Q/N$, кг/ч/кВт | 7,3 | 13,3 | 7,3 | 2,7 | 306 |
| $\Theta_{\text{уд}} = \Theta/m$, кг/ч/кВт/кг | 0,13 | 0,17 | 0,045 | 0,16 | 62 |

фекта для созданию усилий разрушения горных пород позволило создать эффективную энерго- и металлосберегающую горную машину – гироскопическую мельницу.

Выводы

1. Разработан метод использования гироскопических сил как альтернативы гравитационным силам для создания усилий разрушения горных пород с помощью двухступенного гироскопа.

2. Установлено, что гироскопическая сила является функцией пяти

параметров, три из которых являются постоянными конструктивными параметрами, два остальные являются технологическими и могут изменяться в ходе процесса истирания горных пород.

3. Показано, что влияние гравитационных сил на процесс создания усилий разрушения в гироскопической мельнице за счет гироскопических сил значительно снижено, и в этом смысле достигнута их эквивалентность для дезинтеграции твердых материалов в терочных мельницах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобин В.А., Бобина А.В. Гироскопические силы – новая физическая основа создания энергоэффективных горных машин. Наука и образование в XXI веке. Сборник научных трудов. Часть I. Мин-во обр. и науки. – М.: АР-Консалт, 2014. – С. 27–30.

2. Бобин В.А., Покаместов А.В., Бобина А.В., Ланюк А.Н. Патент РФ № 2429912

Гироскопический измельчитель с центральной загрузкой породы, 2011, бюлл. № 27.

3. Бобин В.А., Покаместов А.В., Бобина А.В. Гироскопическая мельница – новая безударная техника для измельчения руд. – Горный журнал. – 2011. – № 10. – С. 70–72. **VIAS**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Бобин Вячеслав Александрович – доктор технических наук, заведующий отделом, e-mail: bobin_va@mail.ru, Институт проблем комплексного освоения недр РАН, Грабский Александр Адольфович – кандидат технических наук, профессор, МГИ НИТУ «МИСиС»,

Бобина Анна Вячеславовна – руководитель отдела, Международный Союз экономистов, e-mail: annabobini@mail.ru, Покаместов Александр Викторович – генеральный директор, e-mail: pokamest@bk.ru, ООО «НПП Профиль-Т».

UDC 622:331:817

EQUIVALENCE OF GYROSCOPIC AND GRAVITATIONAL FORCES IN DISINTEGRATION OF HARD ROCKS IN ATTRITION MILLS

Bobin V.A., Doctor of Technical Sciences, Head of Department, e-mail: bobin_va@mail.ru, Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia,

Grabskiy A.A., Candidate of Technical Sciences, Professor, Mining Institute, National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia,

Bobina A.V., Head of Department, e-mail: annabobini@mail.ru, International Union of Economists, 125009, Moscow, Russia, Pokamestov A.V., General Director, e-mail: pokamest@bk.ru, NPP Profil-T LTD, 127282, Moscow, Russia.

The method has been developed to use gyroscopic forces as an alternative of gravitational forces in disintegration of rocks by one-axis gyro. It is found that gyroscopic force is a function of five parameters, out which three are the constant design parameters and two are the process parameters variable in the course of rock attrition. Furthermore, it is shown that effect of gravitation on gyroscopic force-based disintegration

in gyroscopic mill is considerably reduced, and in this sense the equivalence of the forces in disintegration of hard materials in attrition mills is achieved.

Key words: gyroscopic force, gravitation, hard material disintegration, gyroscopic mill.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was conducted in the framework of the state contract «Development of rock disintegration methods based on gyroscopic effect» supported by the RF Ministry of Education and Science, Contract No. 16.515.12.5010 dated Oct 11, 2011.

REFERENCES

1. Bobin V.A., Bobina A.V. *Nauka i obrazovanie v KhKhI veke*. Sbornik nauchnykh trudov. Chast' I. Ministerstvo obrazovaniya i nauki (Science and education in XXI century. Ministry of Education and Science. Collection of scientific papers. Part I. Министерство образования и науки), Moscow, AR-Konsalt, 2014, pp. 27–30.
2. Bobin V.A., Pokamestov A.V., Bobina A.V., Lanyuk A.N. *Patent RU 2429912*, 2011.
3. Bobin V.A., Pokamestov A.V., Bobina A.V. *Gornyy zhurnal*. 2011, no 10, pp. 70–72.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ ГЕОРЕСУРСОВ

Макишин Валерий Николаевич – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой, e-mail: interrex@mail.ru; Маликов Алексей Сергеевич – аспирант; Григоровский Илья Алексеевич – аспирант; Белов Алексей Викторович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: poraen@mail.ru; Гребенюк И.В. – научный сотрудник, e-mail: starb1i@mail.ru; Николайчук Николай Артемович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: miningfestu@mail.ru; Андреев Андрей Владимирович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: aandreevmining@mail.ru; Виниченко Илья Андреевич – студент, e-mail: miningfestu@mail.ru; Ларионов Михаил Викторович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: poraen@mail.ru; Бабаев Андрей Юрьевич – студент, e-mail: miningfestu@mail.ru; Рыбников Олег Павлович – студент, e-mail: raven16091991@mail.ru; Дальневосточный федеральный университет.
Кинаев Николай Николаевич – кандидат технических наук, директор компании «Strategic Energy Consulting Co», Австралия.

Представлены результаты исследований по разработке перспективных технологий освоения георесурсов Российской Федерации Дальнего Востока. Представленные научные работы посвящены вопросам повышения эффективности освоения твердых полезных ископаемых, а также перспективных технологий комплексного освоения углеводородного сырья с учетом полноты извлечения из недр, экологической безопасности и других актуальных вопросов в этой области.

Ключевые слова: рудные месторождения, схема вскрытия, самоходное оборудование, подэтажные выработки, газификация угля, угольные брикеты, гуматы, сланцевая нефть, ультразвуковые колебания.

ADVANCED TECHNOLOGIES FOR DEVELOPMENT OF GEORESOURCES

Makishin V.N.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department; Malikov A.S.¹, Graduate Student; Grigirovskiy I.A.¹, Graduate Student, Belov A.V.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Grebenyuk V.I.¹, Researcher; Nikolaychuk N.A.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Andreev A.V.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Vinichenko I.A.¹, Student; Larionov M.V.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Babaev A.Yu.¹, Student; Rybnikov O.P.¹, Student, Kinaev N.N., Candidate of Technical Sciences, Director of Strategic Energy Consulting Co., Australia, ¹ Far East Federal University, Vladivostok, Russia.

The results of studies on the development of promising technologies development of geo-resources of the Russian Far East. Presented scientific work is devoted to improving the efficiency of exploration of solid minerals, as well as promising technologies for the comprehensive development of hydrocarbon raw materials with regard to the completeness of extraction of mineral resources, environmental safety and other relevant issues in this area.

Key words: ore deposit, development schemes, self-propelled equipment, sub-level development, coal gasification, technologies, production of humates, coal briquettes, shale oil, ultrasonic vibrations.