

УДК 621.926.77

В.А. БОБИН<sup>1</sup>, д-р техн. наук (bobin\_va@mail.ru), А.В. БОБИНА<sup>2</sup>, инженер (annabobini@mail.ru)<sup>1</sup> Институт проблем комплексного освоения недр Российской академии наук (111020, г. Москва, Крюковский тупик, 4),<sup>2</sup> Московский горный институт Национального исследовательского технологического университета МИСиС (119991, г. Москва, Ленинский просп., 4)

## Гироскопическая мельница – новая энергоэффективная техника для безударного разрушения твердых материалов

Описана конструкция и принцип работы гироскопической мельницы – новой, не имеющей аналогов энергоэффективной техники для безударного разрушения твердых материалов. Представлены результаты лабораторных исследований экспериментального образца гироскопической мельницы с центральной загрузкой горной породы через полый вал. Показано, что для всех видов исследованных горных пород, имеющих крепость по шкале Протодяконова в диапазоне до 8 единиц, эффективность работы гироскопической мельницы составила более 306 кг/чкВт, а удельная эффективность – 62 кг/чкВт/т массы установки, что в 23 раза и на три порядка больше соответствующих величин традиционных дисковых истребителей.

**Ключевые слова:** безударное разрушение материалов, гироскопическая мельница, дисковые истребители, технологические параметры измельчения, энергоэффективность

V.A. BOBIN<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering), A.V. BOBINA<sup>2</sup>, Engineer (annabobini@mail.ru)<sup>1</sup> Institute of Complex Exploitation of Mineral Resources of the Russian Academy of Sciences (4, Kryukovski Tupik, Moscow, 111020, Russian Federation)<sup>2</sup> Moscow mining institute of National University of Science and Technology MISIS (4, Leninskiy Avenue, 119049, Moscow)

### Gyroscopic mill – new power effective equipment for unaccented destruction of solid materials

The design and principle of operation of a gyroscopic mill, a new, not having analogues, power efficient equipment for non-impact destruction of solid materials, are described. Results of the laboratory testing of the experimental sample of the gyroscopic mill with the central loading of rock through the hollow shaft are presented. It is shown that for all types of tested rock with hardness in the range of 8 units according to the scale of professor M.M. Protodiakonov, the efficiency of the gyroscopic mill operation is over 306 kg/h.kw and specific efficiency is 62 kg/h.kw/t of the unit's mass that 23 times and three orders of magnitude larger than the corresponding values of the traditional disk grinder.

**Keywords:** non-impact destruction of solid materials, gyroscopic mill

Задача создания горных машин, позволяющих существенно сократить энерго- и металлзатраты на разрушение твердых материалов, является важнейшей для строительной индустрии и горнодобывающей промышленности.

Существующие мельницы и дисковые истребители не позволяют изменять усилия истирания горных пород в зависимости от их гранулометрического состава и прочностных свойств, что требует расширения номенклатуры машин, повышения их массогабаритных показателей и увеличения энергопотребления на измельчение единицы массы исходного материала.

Значительного повышения энергоэффективности измельчения твердых материалов можно достичь только на основе нового физического принципа создания усилий разрушения горных пород, который использован в терочных мельницах с рабочим органом, управляемым гироскопом, получивших название гироскопических мельниц (ГМ), которые наряду с дисковыми истребителями используются для переработки хрупких материалов различной прочности и твердости.

Десятилетний опыт научных и конструкторских разработок [1–4] в этом новом направлении показал, что существующие ГМ имеют значительные резервы для модернизации в направлении существенного уменьшения габаритов и массы, а также повышения эффективности работы.

В этой связи для теории и практики горных машин актуальным представляется дальнейшее развитие исследований по разработке нового гироскопического метода истирания твердых строительных материалов и различных горных пород [5–7].

Целью настоящей работы стало экспериментальное обоснование параметров рабочего процесса безударного разрушения твердых материалов в гироскопических мельницах для повышения их производительности.

Наиболее современной из гироскопических горных машин является ГМ с загрузкой через полый вал вращения горизонтальной площадки [8] (рис. 1).

Принцип действия ГМ заключается в том, что при вращении силовым двигателем 9 горизонтальной рабочей площадки 23 с установленными на ней шестью двухступенными гироскопами, на которых закреплены через рычаги 24 валки (рабочие органы) 26, возникает гироскопический момент, одновременно с гироскопами поворачивающий и прижимающий к породе 28 закрепленные на рычагах валки 26. Измельчаемая горная порода попадает под валки через усеченный конус центрального загрузочного устройства 1 и полый вал вращения 4 и равномерно распределяется на рабочем столе 29 с помощью центрального рассекателя 27. Вращающиеся валки, прижатые гироскопическим моментом к породе, обеспечивают ее истирание, в результате чего она через перфорированные отверстия рабочего стола сначала попадает в разгрузочный усеченный конус 33 и далее в бункер 34.

Схема сил и моментов, реализующих рабочий процесс разрушения горной породы в ГМ, приведена на рис. 2.

$$I_{ГМ}I = J_M \times \omega(\text{омега}) \times \Omega(\text{омега}) \times \sin \alpha, \quad (1)$$

где  $J_M = m_M \times R_M^2 / 2$  – момент инерции маховика 20;  $m_M$  и  $R_M$  – соответственно масса и радиус маховика 20;  $\alpha$  – угол между векторами  $\omega$  и  $\Omega$ .

При этом непосредственно на каждый из шести валков 26 действует вертикальная гироскопическая сила:

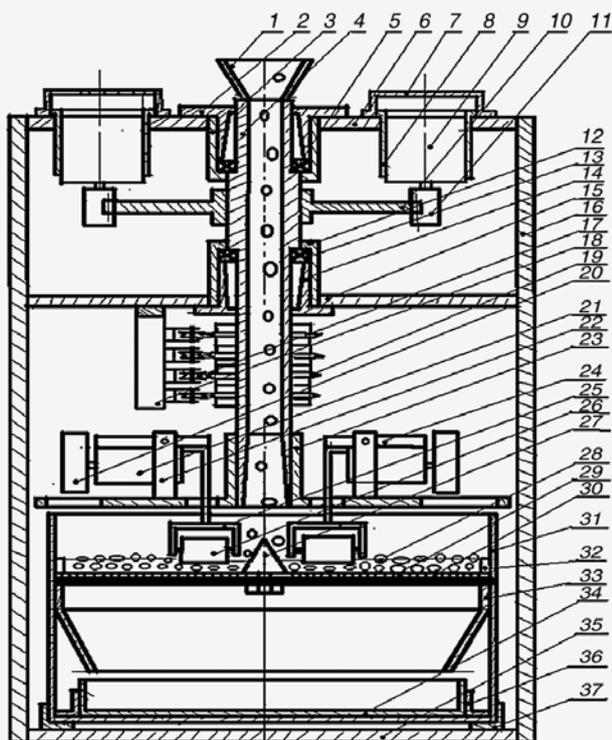
$$I_{ГМ}I = I_{ГМ}I / l_1 = J_M \times \omega \times \Omega \times \sin \alpha / l_1, \quad (2)$$

где  $l_1$  – расстояние от шарнира 25 до центра валка 26. Направление этой силы определяется знаком тригонометрической функции.

При этом значение силы истирания, генерируемой каждым из шести валков, вычисляется согласно формуле (3):

$$F_{истр} = K \times F_d = K \times J_M \omega \times \Omega \sin \alpha / l_1, \quad (3)$$

где  $K$  – коэффициент трения.



**Рис. 1.** ГМ с загрузкой горной породы через полый вал горизонтальной площадки: 1 – загрузочный конус; 2 – крышка узла подшипника; 3 – держатель подшипника; 4 – полый вал вращения; 5 – упорный подшипник; 6 – верхняя конструктивная площадка; 7 – защитная крышка силового электродвигателя; 8 – втулка силового электродвигателя; 9 – силовой электродвигатель; 10 – ведомая шестерня редуктора; 11 – ведущая шестерня редуктора; 12 – держатель нижнего подшипника; 13 – упорный подшипник; 14 – крышка нижнего подшипника; 15 – средняя конструктивная площадка; 16 – стойка; 17 – подвижные электрические контакты; 18 – держатель электрических контактов; 19 – неподвижные контакты; 20 – маховик гироскопа; 21 – электродвигатель гироскопа; 22 – стойка гироскопа; 23 – горизонтальная рабочая площадка; 24 – рычаг; 25 – держатель вала (рабочий орган); 26 – валок (6 шт., образующих три симметричные пары; показаны два вала, чтобы не загромождать рисунок); 27 – рассекающий горной породы; 28 – горная порода; 29 – сетка рабочего стола; 30 – основание рабочего стола; 31 – корпус рабочего стола; 32 – фиксирующее кольцо; 33 – разгрузочный конус; 34 – бункер; 35 – нижняя конструктивная площадка; 36 – направляющая бункера; 37 – направляющая корпуса рабочего стола

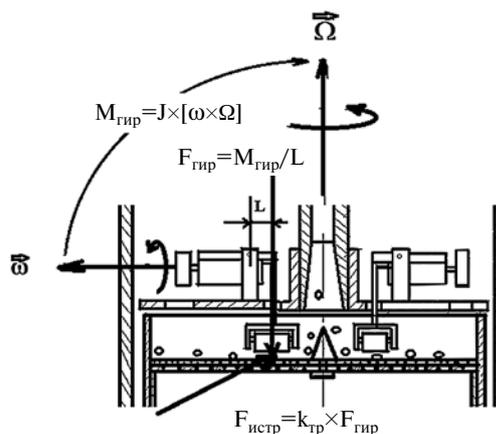
Как показывает соотношение (3), сила истирания твердых материалов является функцией шести параметров, три из которых (масса маховиков, их радиус и расстояние от центра вала до шарнира) являются конструктивными, а коэффициент трения, угловые скорости вращения маховиков и горизонтальной площадки являются технологическими.

Лабораторные экспериментальные исследования по проверке работоспособности образца ГМ проводились в ООО «НПП Профиль-Т» по специальной программе.

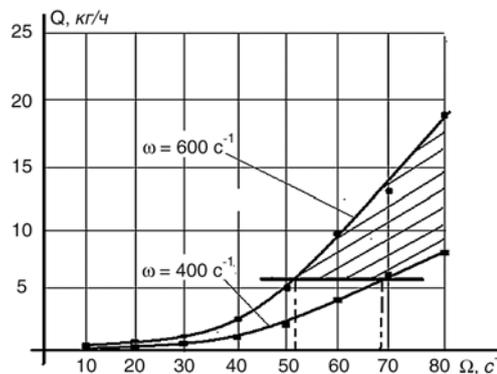
Установленные на ГМ электродвигатели позволяют изменять величину  $\omega$  в диапазоне от 10 до 600 с<sup>-1</sup>, а величину  $\Omega$  в диапазоне от 1 до 80 с<sup>-1</sup>. Момент инерции каждого маховика гироскопов составляет  $J=4 \times 10^{-5}$  кгм<sup>2</sup>, а момент гироскопических сил, создаваемых каждым гироскопом, может изменяться в диапазоне от  $4 \times 10^{-4}$  до 0,32 Нм. Общая площадь, перекрываемая шестью рабочими органами, составляет  $S = 0,0314$  м<sup>2</sup>.

Испытания экспериментального образца ГМ проводились на специальном стенде для образцов горных пород с различной крепостью по шкале Протодяко-нова (табл. 1).

Проверка работоспособности экспериментального образца ГМ, реализующей измельчение горной породы в слое минеральных частиц, включает достижение технических характеристик, а именно: эффективности работы ГМ не хуже 60 кг/ч/кВт и удельной эффективности 12 кг/ч/кВт/кг массы установки.



**Рис. 2.** Схема сил и моментов, реализующих рабочий процесс истирания твердых материалов в ГМ



**Рис. 3.** Зависимость производительности ГМ по галениту от угловой скорости маховиков гироскопов и горизонтальной площадки

Эксперименты по определению производительности ГМ проводили сериями по три эксперимента в каждой, при этом величину угловой скорости вращения рабочей площадки  $\Omega$  изменяли от 10 до 80 с<sup>-1</sup> с шагом 10 с<sup>-1</sup>, тогда как угловую скорость маховиков  $\omega$  задавали фиксированную, 400 и 600 с<sup>-1</sup>, чему соответствовало напряжение на двигателях маховиков 12,03 В и 15 В.

Загружались исходные горные породы фракции 2–7 мм, а производительность мельницы ( $Q$ , т/ч) оценивалась по фракции менее 0,1 мм, собираемой в бункере ГМ. Масса ГМ 5 кг. Продолжительность каждого эксперимента составляла 300 с.

Средние значения определяемых экспериментальных величин для галенита представлены на рис. 3. Аналогичные экспериментальные данные получены и для остальных горных пород. При этом вычислялись эффективность работы ГМ ( $\Theta$ ) и удельная эффективность  $\Theta_{уд}$ , отнесенная на единицу массы исследуемой ГМ, по следующим формулам:

$$\Theta = Q/N, \tag{4}$$

где  $N$  – уровень потребления электроэнергии ГМ (кВт);

$$\Theta_{уд} = \Theta/m = Q/N/m. \tag{5}$$

При проведении экспериментов точность определения эффективности работы ГМ составляла  $\pm 2$  кг/ч/кВт; удельной эффективности –  $\pm 1$  кг/ч/кВт/кг; исходной крупности измельчаемой горной породы –  $\pm 0,03$  мм; конечной крупности породы –  $\pm 0,01$  мм.

Эта зависимость показывает, что достижение характеристики производительности работы ГИ не хуже

6 кг/ч реализуется при  $\omega=400 \text{ с}^{-1}$ , если  $\Omega>68 \text{ с}^{-1}$ . При увеличении угловой скорости вращения маховиков гироскопов до  $600 \text{ с}^{-1}$  значение угловой скорости вращения горизонтальной площадки снижается до  $53 \text{ с}^{-1}$ , достигая при этом требуемой производительности работы ГМ.

На рис. 4 и 5 представлены соответственно зависимости эффективности и удельной эффективности работы ГМ по галениту от угловых скоростей маховиков гироскопов и горизонтальной площадки.

Представленные на рис. 4 и 5 экспериментальные данные показывают, что эффективность работы ГИ не хуже  $60 \text{ кг/ч/кВт}$  и удельная эффективность  $12 \text{ кг/ч/кВт/кг}$  массы установки достигаются при  $\omega=400 \text{ с}^{-1}$ , если  $\Omega>58 \text{ с}^{-1}$ .

В свою очередь, увеличение угловой скорости вращения маховиков гироскопов до  $600 \text{ с}^{-1}$  позволяет снизить значение угловой скорости вращения горизонтальной площадки до  $48 \text{ с}^{-1}$ , достигая при этом требуемой эффективности и удельной эффективности работы ГМ.

Таким образом, экспериментально определены области технологических параметров работы ГМ, при которых ее заявленные технические характеристики достижимы.

Аналогичные эксперименты были проведены для остальных горных пород (табл. 1). На рис. 6, 7 представлены результаты для угля и кварца. Эти горные породы являются наиболее характерными, так как их крепость различается почти в три раза, что отражается на достигаемых значениях производительности и удельной эффективности работы ГМ.

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать вывод, что значения эффективности и удельной эффективности работы ГМ определяются главным образом угловой скоростью маховиков гироскопов и горизонтальной площадки. Для наименее крепкой породы – угля заданные технические характеристики достигаются уже при  $\omega=400 \text{ с}^{-1}$  и  $\Omega>52 \text{ с}^{-1}$ , а при  $\omega=600 \text{ с}^{-1}$  угловая скорость вращения горизонтальной площадки может быть снижена до  $\Omega=44 \text{ с}^{-1}$ .

Для наиболее крепкой породы – кварца – аналогичные технические характеристики могут быть достигнуты только при  $\omega=600 \text{ с}^{-1}$  и  $\Omega>66 \text{ с}^{-1}$ . Для остальных пород эти величины имеют следующие значения: цеолит (при  $\omega=400 \text{ с}^{-1}$  и  $\Omega>54 \text{ с}^{-1}$ ; при  $\omega=600 \text{ с}^{-1}$  и  $\Omega>48 \text{ с}^{-1}$ ), шунгит (при  $\omega=400 \text{ с}^{-1}$  и  $\Omega>76 \text{ с}^{-1}$ , при  $\omega=600 \text{ с}^{-1}$  и  $\Omega>55 \text{ с}^{-1}$ ), железистые кварциты (при  $\omega=400 \text{ с}^{-1}$  и  $\Omega>78 \text{ с}^{-1}$ ; при  $\omega=600 \text{ с}^{-1}$  и  $\Omega>57 \text{ с}^{-1}$ ), карбонатно-силикатная руда (при  $\omega=600 \text{ с}^{-1}$  и  $\Omega>62 \text{ с}^{-1}$ ).

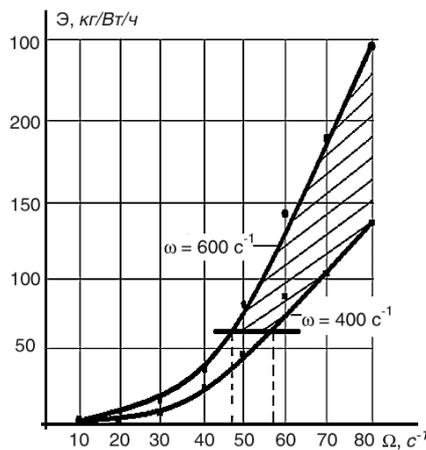


Рис. 4. Зависимость величины эффективности работы ГМ по галениту от угловой скорости маховиков гироскопов и горизонтальной площадки

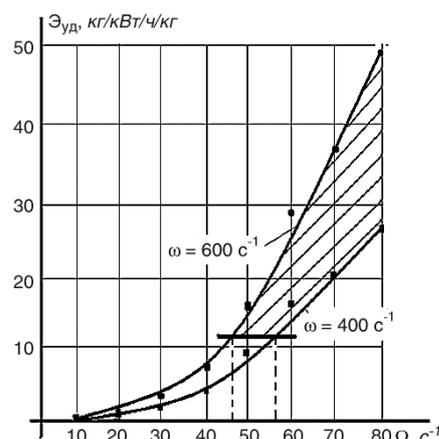


Рис. 5. Зависимость величины удельной эффективности работы ГМ по галениту от угловой скорости маховиков гироскопов и горизонтальной площадки

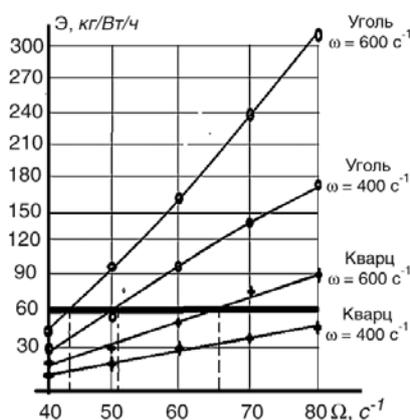


Рис. 6. Зависимость величины эффективности работы ГМ по углю и кварцу от угловой скорости маховиков гироскопов и горизонтальной площадки

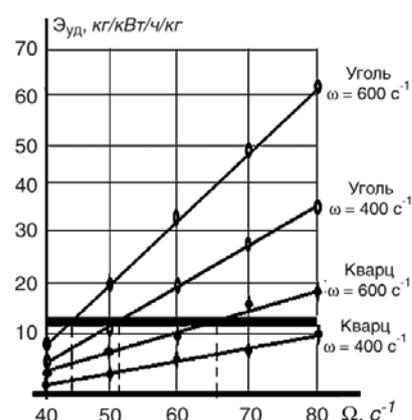


Рис. 7. Зависимость величины удельной эффективности работы ГМ по углю и кварцу от угловой скорости маховиков гироскопов и горизонтальной площадки

Таблица 1

Горная порода	Уголь	Галенит	Цеолит	Шунгит	Железистые кварциты	Карбонаты	Кварц
Крепкость	2	2–3	3	5	5–6	6	7–8

Таблица 2

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
Э=Q/N, кг/ч/кВт	7,3	13,3	7,3	2,7	306
Эуд=Э/m, кг/ч/кВт/кг	0,13	0,17	0,045	0,16	62

Технические характеристики ГМ в сравнении с такими же показателями для дисковых измельчителей, выполняющих аналогичные функции, приведены в табл. 2.

Данные табл. 2 подтверждают работоспособность ГМ, энергоэффективность которой в 23 раза, а удельная энергоэффективность в 1300 раз больше, чем у дисковых истирателей аналогичного назначения.

Таким образом, представленные результаты лабораторных исследований экспериментального образца гироскопической мельницы с центральной загрузкой горной породы через полый вал показывают, что эта новая техника является энергоэффективным устройством для безударного разрушения твердых материалов и горных пород.



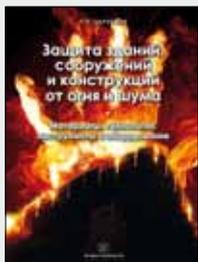
**Список литературы**

1. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Основы горного дела. М.: Недра, 2010. 264 с.
2. Чантурия В.А. и др. Наночастицы в процессах разрушения и вскрытия геоматериалов. М.: ИПКОН РАН, 2006. 352 с.
3. Викторов С.Д., Казаков Н.Н., Шляпин А.В., Добрынин И.А. Определение гранулометрического состава по фотопланограммам с использованием компьютерной программы // *Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск*, 2007. № 8. С. 169–173.
4. Казаков С.В., Вайсберг Л.А., Лавров Б.П. Анализ одной из перспективных схем виброударной дробилки // *Обогащение руд*. 2006. № 3. С. 41–43.
5. Бобин В.А., Воронюк А.С., Ланюк А.Н. Идея использования гироскопической силы как физической основы новых энерго- и материалосберегающих технологий и механизмов // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2005. № 3. С. 290–293.
6. Покаместов А.В., Бобина А.В. Новый физический принцип создания и регулирования усилиями истирания за счет гироскопического эффекта // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2012. № 3. С. 29–31.
7. Бобин В.А., Чернегов Ю.А. Гироскопическая мельница. Технологический прорыв в горном деле // *Технологии мира*. 2010. № 6 (24). С. 25–27.
8. Бобин В.А., Покаместов А.В., Бобина А.В., Ланюк А.Н. Гироскопический измельчитель с центральной загрузкой породы. Патент РФ № 2429912. 2011. Бюл. № 27.

**References**

1. Trubetskoy K.N., Galchenko Y.P. Basics of mining. Moscow: Nedra, 2010, 264 p. (In Russian).
2. Chanturia V.A. and other. Nanochastitsy v protsessakh razrusheniya i vskriiya geomaterialov [Nanoparticles in the processes of disintegration and opening of geomaterials] Moscow: IPKON RAS, 2006. 352 p. (In Russian).
3. Viktorov S.D., Kazakov N.N., Shlyapin A.C., Dobrynin I.A. Determination of particle size distribution on foto-programma using a computer program. *GIAB*, Seharate issue. 2007. No. 8. pp. 169–173. (In Russian).
4. Kazakov S.V., Weisberg L.A., Lavrov B.P. Analysis one of the promising schemes of vibro-impact crusher. *Obogaschenie rud*. 2006, No. 3, pp. 41–43. (In Russian).
5. Bobin V.A., Voronyuk A.S., Lanyuk A.N. The idea of using gyroscopic forces as the physical basis of new energy - material-efficient technologies and mechanisms. *GIAB*. 2005. No. 3, pp. 290–293. (In Russian).
6. Pokamestov A.V., Bobina A.V. Century a New physical principle of the creation and regulation efforts abrasion due to the gyroscopic effect. *GIAB*, 2012, No. 3, pp. 29–31. (In Russian).
7. Bobin C.A., Chernegov Y.A. Gyroscopic mill. A technological breakthrough in mining. *Technologii mira*. 2010. No. 6(24), pp. 25–27. (In Russian).
8. Bobin V.A., Pakamestov A.V., Bobina A.V., Lanyuk A.N. Gyroscopic shredder with Central loading of the breed. RF patent No. 2429912. 2011. Bull. No. 27. (In Russian).

**Издательство «Инфра-Инженерия» представляет новые книги**



**Защита зданий, сооружений и конструкций от огня и шума**  
 Автор - Л.П. Зарубина, канд. техн. наук

В книге обобщен и систематизирован многолетний опыт работы ведущих научных, проектных и производственных организаций, занимающихся проблемами борьбы с огнем и шумом. Рассмотрена пассивная и активная огнезащита. Приведены средства и способы огнезащиты, огнезащитные покрытия для металлоконструкций, железобетонных конструкций, воздуховодов, деревянных конструкций, кабельных сетей. Даны системы противопожарной и противодымной защиты, пожарной сигнализации, автоматического пожаротушения. Рассмотрены вопросы звукоизоляции производственных, жилых и офисных помещений. Приведены современные материалы для звукоизоляции, шумоизоляции и шумопоглощения.

Книга предназначена для широкого круга инженерно-технических работников, занимающихся проектированием, строительством и эксплуатацией зданий и сооружений, может служить учебно-методическим пособием для студентов высших учебных заведений, аспирантов, слушателей институтов повышения квалификации строительного, машиностроительного и технологического профилей.

**Оформить заказ на книгу можно на сайте [www.infra-e.ru](http://www.infra-e.ru), тел.: +7-911-512-48-48, skype: infra\_e**



**Защита зданий, сооружений, конструкций и оборудования от коррозии. Биологическая защита**  
 Автор - Л.П. Зарубина, канд. техн. наук

В книге обобщен и систематизирован многолетний опыт работы ведущих научных, проектных и производственных организаций, занимающихся проблемами борьбы с коррозией и биологическим повреждением. Приведены классификация и характеристика защитных покрытий. Рассмотрены вопросы подготовки поверхностей к защите от коррозии различными способами. Предложены решения по защите конструкций от биологической коррозии. Приведена классификация способов и средств биоингибиторной защиты. Даны примеры биоцидных антисептических составов, лакокрасочных материалов.

Книга предназначена для широкого круга инженерно-технических работников, занимающихся проектированием, строительством и эксплуатацией зданий и сооружений.

**Оформить заказ на книгу можно на сайте [www.infra-e.ru](http://www.infra-e.ru), тел.: +7-911-512-48-48, skype: infra\_e**