

ISSN 0536-1028

Известия
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ

ВЫХОДИТ ЕЖЕМЕСЯЧНО

3/92

СОДЕРЖАНИЕ

Физические процессы горного производства

Масолов В. Г., Носов В. В. Кинетический подход к оценке состояния массива горных пород по регистрации его сейсмоакустической активности	1
Байбатчаев А. Б. Тектонофизический прогноз естественного напряженно-деформированного состояния терригенных пород	6
Журавков М. А. Эффективные характеристики структурно-неоднородного породного массива	9
Возжеников С. Г., Бельшев Ю. В. О градуировке аппаратуры непрерывного контроля качества горнорудного сырья	16
Протасов Ю. И., Городниченко В. И., Трушкин А. Н. Технология снижения удароопасности массивов горных пород электротермическим способом	19
Латышев О. Г., Иванова С. С. Влияние трещиноватости горных пород на их деформационные характеристики	23

Математические модели горной технологии и техники

Ситников Н. Б., Макаров Л. В. Математическая модель процесса бескернового бурения скважин	27
---	----

Разработка месторождений полезных ископаемых

Таукелов Р. Н., Нурпеисов Д. Д., Раздыков К. А. Выбор параметров забоя для экскаваторов с инерционным ротором нижней разгрузки	35
Леляков И. И., Степченков С. А., Паршкин Э. М. Оценка эффективности применения выемочно-погрузочного оборудования на карьерах	38
Барсуков И. М., Кириенко И. С. Нормативы землепользования при формировании намывных массивов на горных предприятиях	44
Богатов Б. А., Головач А. А., Куптель Г. А., Поликарпова Н. Н., Халявкин Ф. Г., Яцковец А. И., Зеленый В. А. Производство торфяных питательных брикетов	47

Строительство шахт и подземных сооружений

Левшин А. А., Онопчук Б. Н. Напряженно-деформированное состояние массива горных пород с поверхностью скольжения	52
Пожуев В. И., Жибигай М. Динамика подземной цилиндрической оболочки, подкрепленной продольными ребрами жесткости, под действием подвижных нагрузок	56
Зарецкий-Феокистов Г. Г. Реологические свойства калийной соли в объемном напряженном состоянии (в приближении теории течения)	61
Константинова С. А., Пепеляева Т. Ф. Учет неоднородности прочностных свойств соляных пород в рамках упруговязкопластической модели	67
Лесников В. С., Мирошниченко И. А. Влияние типа разгрузочных элементов на устойчивость подземной горной выработки	72

Маркшейдерское дело

Кашников Ю. А., Якушина Е. М., Ашихмин С. Г. Деформирование скального массива по системам трещин	75
--	----

Рудничная аэрология. Охрана труда

Мохирев Н. Н., Захаров Н. И., Шейко В. В., Молчанов С. Ф., Неверов А. Е. Повышение надежности вентиляции рабочих зон, расположенных в отработанном пространстве	81
---	----

Буровзрывное дело

Боровиков В. А., Сафронова Н. И. Влияние конструкции заряда на спектральные характеристики волны напряжений при взрыве в горных породах	83
Баранов Е. Г., Клочко И. И., Петелин Э. А. Действие кумулятивного заряда в горной породе и расчет параметров нагружения	88
Гаджиев И. Ш., Татлыев Х. С., Ахундова С. А., Акперова М. Б., Агаев С. Г. Диагностирование критического момента отработки долота	92

Рудничный транспорт

- Коптев В. Ю., Кулешов А. А., Марголин И. И., Нечипоренко А. Г. Определение реакций дороги, действующих на колеса автосамосвала БелАЗ-75211 94

Механизация горных работ. Горные машины и комплексы

- Шевченко В. И. Исследование влияния параметров электромеханического привода с цепным тяговым органом на скорость его движения 98
Родин Р. А. Об определении работы дробления 103

Электрификация горных работ

- Щуцкий В. И., Шевченко Л. П., Гайдашев В. И. Микропроцессорная аппаратура автоматического контроля и диагностики блоков управления шахтных высоковольтных аппаратов 110
Попов А. Н. К исследованию динамики движения механизмов с грузом на гибкой подвеске 112

Автоматизация производственных процессов

- Суллейменов О. А., Комиссарова Л. В., Нармухамедов Ж. А. Дистанционно-автоматическое управление погрузочными конвейерными комплексами 119
Кузякин В. И. Стратегии и структура системы управления эксплуатационной надежностью буровых установок 121

- Рефераты 124

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

А. Е. Троп (главный редактор)

К. Н. Адилов, А. И. Арсентьев, В. Ф. Бызов, Г. А. Багаутинов, Н. Ф. Гращенков, А. Н. Данияров, И. В. Дементьев, В. З. Козин, В. Н. Корнилков, А. А. Кулешов, Д. Е. Махно, Б. А. Носырев, Л. Я. Парчевский, Г. Г. Пивняк, В. Л. Попов, Н. М. Проскурняков, Ю. И. Протасов, Л. А. Пучков, В. В. Ржевский, Ю. А. Рыжков, К. Ф. Сапицкий, В. Г. Симанов (зам. главного редактора), Ю. И. Соколов, Г. И. Солод, Л. А. Сорокин (зам. главного редактора), В. Е. Стровский, Ю. И. Туринцев, В. П. Франчук, В. С. Хохряков, В. И. Щуцкий, В. А. Ярцев

Ответственный секретарь редакции Р. К. Бродягина

Старший редактор С. М. Кошелева. Редактор А. В. Беляева
Технический редактор Н. Д. Чубарова. Корректор О. Г. Пихтовникова

Сдано в набор 29.10.91. Подп. в печать 20.01.92.
Формат 70×108^{1/16}. Бум. тип. № 2. Печать высокая.
11,2 усл. печ. л. 11,2 усл. кр.-отт. 11,8 уч.-изд. л.
Тираж 1200. Заказ 316. Цена 1 р. 40 к.

Редакция «Изв. вузов. Горный журнал»,
620219, г. Екатеринбург, Университетский пер., 9, ГСП-678,
тел. 22-46-04.

Типография изд-ва «Уральский рабочий»,
620219, г. Екатеринбург, ул. Тургенева, 13.

ДЕЙСТВИЕ КУМУЛЯТИВНОГО ЗАРЯДА В ГОРНОЙ ПОРОДЕ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НАГРУЖЕНИЯ

Проф. Е. Г. БАРАНОВ, доц. И. И. КЛОЧКО, инж. Э. А. ИТЕЛИН
(Днепропетровский горный институт, Донецкий политехнический институт)

Впервые механизм разрушения горной породы под воздействием кумулятивной струи был предложен М. А. Лаврентьевым и может быть представлен следующим образом. Проникая в породу, струя «вытесняет», «уплотняет» частицы, образуя напряженную зону. От этой зоны распространяются напряжения, производящие разрушения. Величина зоны напряжений определяется глубиной проникновения струи, которая зависит от структуры, текстуры, прочностных характеристик горной породы. Для расчетов параметров нагружения принимают, что среда является идеальной жидкостью, и к ней применимы известные уравнения из теории бронепробивания [1]. Анализ этих уравнений показывает, что для увеличения эффекта разрушающего действия кумулятивного заряда необходимо повышать осевое давление p_{oc} в кумулятивном потоке, что справедливо при пробивании преграды. В горной породе повышение p_{oc} , например, в 1,25—1,35 раза приводит к росту объема зоны пластических деформаций в 11,8 раза [2]. Таким образом, простое повышение p_{oc} в горной породе не дает эффекта и, кроме того, требует учета пластических свойств горных пород, т. е. горная порода не в полной мере отвечает модели идеальной жидкости.

В общем случае горная порода является многокомпонентной средой и плотность ее, как трехкомпонентной среды, будет равна $\rho_0 = \alpha_1 \rho_1 + \alpha_2 \rho_2 + \alpha_3 \rho_3$, где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ — содержание в долях по объему, соответственно, газообразного, жидкого и твердого компонентов. Для пород сложного минералогического состава третий компонент подразделяется на ряд субкомпонентов.

Наличие газообразного и твердого компонентов приводит к тому, что в первоначальный момент нагружения порода уплотняется. После того как среда уплотнилась, давление на границе раздела *кумулятивная струя — горная порода* возрастает настолько, что превышает динамический предел прочности породы на сжатие $\sigma_{дин}$ и порода ведет себя как идеальная жидкость. Известно [3], что при действии усилия на поверхности в среде создается пластическое ядро, которое при дальнейшем воздействии внешнего усилия неизбежно перемещается. Глубина перемещения напряженного ядра будет зависеть от глубины проникновения кумулятивной струи и определять общий объем разрушения, т. е. распространение волн напряжений будет происходить именно от этого ядра.

Определить глубину проникновения кумулятивной струи в породу можно исходя из предположений, что кумулятивная струя будет внедряться в горную породу до тех пор, пока давление струи p_c будет больше или равно динамическому пределу прочности породы на сжатие $\sigma_{дин}$, т. е. $p_c \geq \sigma_{дин}$. Как только начнет выполняться условие $p_c < \sigma_{дин}$, внедрение струи прекращается, но поскольку $p_c > \sigma_{ст}$ (где $\sigma_{ст}$ — предел прочности горной породы на одноосное сжатие), то происходит дальнейшее перемещение ядра уплотнений. Это движение будет продолжаться до тех пор, пока не будет выполняться равенство $p_c = \sigma_{ст}$. Во временном промежутке изменение p_c от $\sigma_{дин}$ до $\sigma_{ст}$ в среде будут происходить пластические деформации, что приводит к эффекту переизмельчения горной массы, а в случае $p_c < \sigma_{ст}$ в среде будут наблюдаться упругие деформации.

В теории М. А. Лаврентьева глубина проникновения кумулятивной струи в преграду определяется по выражению $L = l((\alpha_2/\alpha_1)(\rho_{1_0}/\rho_{2_0}))^{1/2}$, где ρ_{1_0} , ρ_{2_0} — соответственно, начальные плотности материалов струи и преграды, кг/м³; α_1 , α_2 — соответственно, коэффициенты сжимаемости этих материалов; l — длина кумулятивной струи, м. Строго говоря, величина l справедлива для кумулятивных зарядов с металлической облицовкой кумулятивной выемки, а в случае газовой кумуляции такого понятия, на наш взгляд, не существует. Для оценки газовой кумулятивной струи правомерно говорить о скорости струи u , о ее плотности ρ , давлении, оказываемом струей на преграду p , а также о времени ее существования $t_{эф}$. Последняя характеристика является весьма важной, т. к. она определяет время приложения нагрузки и может служить характеристикой среды исходя из того, что, когда $p_c < \sigma_{ст}$, разрушений не происходит, т. е. струя распадается. Таким образом, $t_{эф}$ определяется временем падения давления от первоначального p_2 , что соответствует началу истечения кумулятивной струи, до $\sigma_{ст}$.

Давление p_2 в зависимости от типа ВВ, конструкции заряда находится в пределах $13,6 \cdot 10^8 \dots 1,1 \cdot 10^{10}$ Па, а $\sigma_{ст}$ — в пределах от $0,09 \times 10^8$ Па — для известняков до $2,77 \cdot 10^8$ Па — для кварцитов. Величину p_2 можно считать статическим давлением в тот момент времени, когда еще не произошло столкновение струи с преградой. При соударении струи с преградой произойдет некоторое повышение давления δp_2 на границе раздела сред *кумулятивная струя — горная порода*. Таким образом, время $t_{эф}$ эффективного воздействия кумулятивной струи на преграду будет равно времени падения давления от $p_2 + \delta p_2$ до $\sigma_{ст}$. Если принять, что кумулятивная струя представляет собой ударную волну с параметрами газа за ее фронтом p_2 , ρ_2 , u_2 , то можно определить давление, оказываемое струей на преграду, которое будет равно давлению в отраженной ударной волне: $p_3 = p_2 + 2kp_2(p_2 - p_0) / ((k - 1)p_2 + (k + 1)p_0)^{-1}$, где p_2 — давление за фронтом падающей ударной волны, Па; p_0 — давление перед фронтом падающей ударной волны, Па; k — показатель изэнтропы. При $k = 1,4$ $p_3 \approx 8p_2$. Плотность отраженного потока определяется из соотношения $\rho_3 = \rho_2 k p_2 / ((k - 1)p_2 + p_0)^{-1}$, где ρ_2 — плотность потока за фронтом падающей ударной волны, кг/м³. При $k = 1,4$ $\rho_3 = 3,5\rho_2$.

Скорость смещения границы раздела сред может быть определена по выражению [1] $u_{гр} = u_0 - (p_x(v_{1_0} - v_{1_x}))^{1/2} = (p_x(v_{2_0} - v_{2_x}))^{1/2}$, где p_x — давление на границе раздела сред в момент удара, Па; v_{1_0} , v_{1_x} — удельные объемы ударяющего тела (кумулятивной струи) — начальный и в момент удара, м³/кг; v_{2_0} , v_{2_x} — удельные объемы преграды (горной породы) — начальный и в момент удара, м³/кг; v_0 — скорость удара (массовая скорость кумулятивной струи), м/с; $v_x = v_0(1 - \alpha)$, здесь α — сжимаемость среды.

После преобразований получим $p_x = \rho_{1_0} u^2 (\alpha_1^{1/2} + (\alpha_2 \rho_{1_0} / \rho_{2_0}))^{1/2}$; $u_{гр} = u_x = u (1 + ((\alpha_1/\alpha_2)(\rho_{2_0}/\rho_{1_0}))^{1/2})^{-1}$.

Связь между p_x и ρ_0 можно определить по уравнению Тэта:

$$p_x = A((\rho_x/\rho_0)^n - 1), \quad (1)$$

где A , n — константы; ρ_0 , ρ_x — плотности среды начальная и в момент удара, кг/м³. В этом случае p_x можно определить графически как точку пересечения кривой ударного сжатия материала преграды и кривой расширения продуктов взрыва, образующих кумулятивную струю.

С учетом прочностных свойств материала преграды величина u_x может быть определена по выражению [1]

$$u_x = u [1 + ((\alpha_1/\alpha_2)(\rho_{2_0}/\rho_{1_0})^2)^{1/2} - p_{пр} \alpha_2 (\rho_{2_0} u^2)^{-1}]^{1/2}, \quad (2)$$

где $p_{пр}$ — величина противодавления или «внутреннее» давление в мате-

риале преграды, Па. Если $p_{пр}$ выразить через $\sigma_{дин}$, получим $p_{пр} = \sigma_{дин} + 0,5\rho_2 u_x^2$, где $\sigma_{дин} = 10,625\sigma_{ст}$ Па [4]; $0,5\rho_2 u_x^2$ — инерционная составляющая прочности. Тогда $p_{пр} = 10,625\sigma_{ст} + 0,5\rho_2 u_x^2$. Подставив эти значения в выражение (2), получим скорость движения границы раздела газовой кумулятивной струи — горная порода: $u_x = u[2(R(2 + \alpha_2))^{-1} - 21,25\alpha_2\sigma_{ст}((2 + \alpha_2)\rho_2 u^2)^{-1}]^{1/2}$, где $R = (1 + ((\alpha_1/\alpha_2)(\rho_2/\rho_{10}))^{1/2})^2$. Задавая значения p_x , по выражению, которое следует из (1), можно определить сжимаемость данной горной породы: $\alpha_2 = 1 - (1 + p_x/A)^{-1/n}$.

Величина ударной сжимаемости газовой кумулятивной струи α_1 (она выше сжимаемости горных пород) определяется из выражения $\alpha_1 = 1 - \rho_0/\rho_x$. Величину ρ_x примем равной плотности продуктов детонации за фронтом отраженной ударной волны ρ_3 , т. е. $\rho_x = \rho_3$. Таким образом создается возможность определить скорость движения границы раздела кумулятивная среда — горная порода. Результаты расчета скорости движения границы раздела сред u_x в зависимости от величины давления p_x по вышеприведенным формулам для различных горных пород представлены в табл. 1.

Таблица 1

Зависимость скорости от давления при проникании газовой кумулятивной струи в горную породу

$p_x \cdot 10^{10}$, Па	Породы			
	гранит u_x , м/с	мрамор u_x , м/с	доломит u_x , м/с	каменная соль u_x , м/с
0,54	85	87	86	58
0,79	119	121	121	91
0,93	239	233	227	257
1,86	475	465	460	516
2,72	636	617	609	691
3,93	821	803	804	893
4,44	901	877	885	973

Расчетные данные значений u_x в зависимости от p_x для газо-металлических кумулятивных струй и металлических преград, рассчитанные по методике Ф. А. Баума, представлены в табл. 2 [1].

Таблица 2

Зависимость скорости от давления при проникании струи в преграду

$p_x \cdot 10^{10}$, Па	u_x , м/с	u_x , м/с	u_x , м/с
	(дюралюминиевая струя по дюралюминиевой преграде)	(дюралюминиевая струя по стальной преграде)	(стальная струя по стальной преграде)
1	1300	900	510
2	2320	1640	970
3	3200	2270	1380
4	4000	2870	1760
5	4670	3390	2120

Глубина проникновения кумулятивной струи в преграду может быть определена из выражения

$$L = u_x t_{эф}. \quad (3)$$

Для определения $t_{эф}$ рассмотрим схему, представленную на рис. 1. Время существования кумулятивной струи 1 будет определяться временем пробега фронта отраженной ударной волны от границы раздела сред 2 до вершины кумулятивной выемки 3 кумулятивного заряда 4, т. к. в этом случае происходит «превращение» отраженной ударной волны в волну разрежения, что приводит к падению давления в кумулятивной струе. При этом давление в струе 1 в пределах $2r$ у границы раздела сред 2 не должно быть ниже $\sigma_{дин}$, тогда $t_{эф}^* = 2(d + 0,5h)/D_{о.у.в}$, где $D_{о.у.в}$ — скорость фронта отраженной от границы раздела сред ударной волны, определяемая по выражению $D_{о.у.в} = u - (k + 1)(\rho_x(2\rho_x \times (k - 1))^{-1})^{1/2}$. Кроме того, время t_6 пробега боковой волны разрежения до оси кумулятивной струи 1 от ее боковой поверхности должно быть равно $t_{эф}^*$, т. е. должно выполняться равенство $t_{эф}^* = t_6 = r/v_p$, где v_p — скорость боковой волны разрежения, $v_p = 0,5u$. Тогда $2(d + 0,5h)/D_{о.у.в} = r/v_p$. Откуда

$$t_{эф}^* = (2d + h)/D_{о.у.в} \quad (4)$$

Величина $t_{эф}^*$, определенная по выражению (4), не полностью учитывает время приложения нагрузки, т. к. было рассмотрено время до момента начала падения давления и считалось, что $\rho_x = \sigma_{дин}$. Кроме этого нужно учесть промежуток времени, в течение которого произойдет снижение ρ_x от $\sigma_{дин}$ до $\sigma_{ст}$. Полное время определится по выражению, которое можно принять равным времени проникания струи в преграду:

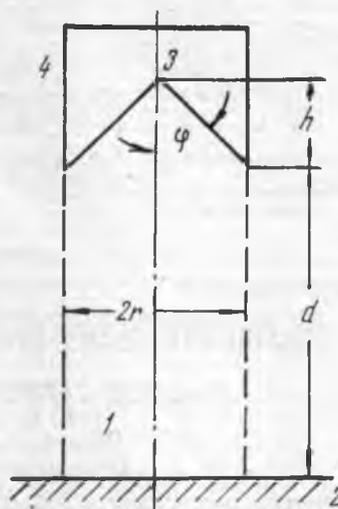


Рис. 1. Расчетная схема для определения $t_{эф}$:
1 — газовая кумулятивная струя;
2 — граница раздела сред; 3 — вершина кумулятивной выемки; 4 — кумулятивный заряд

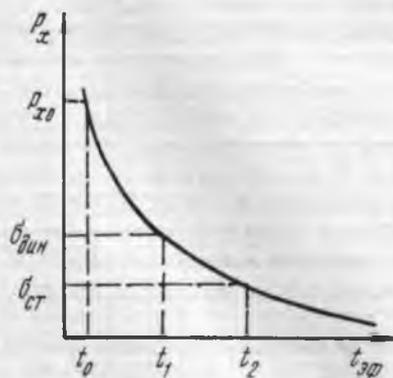


Рис. 2. Зависимость давления ρ_x на границе раздела сред от эффективного времени $t_{эф}$ воздействия газовой кумулятивной струи

$$t_{эф} = t_{эф}^* + \delta t = (2d + h)/D_{о.у.в} + \delta t, \quad (5)$$

где δt — промежуток времени, в течение которого произойдет снижение ρ_x от $\sigma_{дин}$ до $\sigma_{ст}$. Подставив выражение (5) в (3), получим $L = u_x((2d + h)/D_{о.у.в} + \delta t)$. Исследуя зависимость $\rho_x = f(t_{эф})$ (рис. 2), можно определить величину $\delta t = t_2 - t_1$.

Из вышеизложенного следует, что в случае зарядов с газовой кумуляцией нужно говорить не об эффективной длине струи, а о времени ее существования $t_{эф}$; при рассмотрении действия кумулятивной струи в среде нужно пользоваться динамическим пределом прочности горных пород $\sigma_{дин}$ в начальный момент времени нагружения; анализ величины ρ_x показывает, что ее значения на порядок выше динамической прочности пород, что вызывает значительные диссипативные потери энергии; для повышения эффективности действия кумулятивных зарядов необ-

ходимо снизить значения p_x до значений $\sigma_{дин}$ при одновременном увеличении $t_{эф}$; снижение объема пластических деформаций возможно при увеличении времени δt .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Физика взрыва/Под ред. К. П. Станюковича.— М.: Наука, 1975.— 704 с.
2. Сафронов А. В., Абрамов А. В., Ткачев А. А. Применение кумулятивных зарядов для вторичного дробления.— М., 1971.— 12 с.
3. Царицын В. В. Технологическое разрушение горных пород.— Киев: Техника, 1964.— 443 с.
4. Михалюк А. В., Лобода А. И. Прогноз динамической прочности горных пород // Изв. вузов. Горный журнал.— 1989.— № 7.— С. 10—14.

Рекомендована кафедрой
горных машин ДГИ

Поступила в редакцию
17.07.91

УДК 622.24.051

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ КРИТИЧЕСКОГО МОМЕНТА ОТРАБОТКИ ДОЛОТА

Инж. И. Ш. ГАДЖИЕВ, Х. С. ТАТЛЫЕВ, студ. С. А. АХУНДОВА,
инж. М. Б. АБПЕРОВА, проф. С. Г. АГАЕВ
(Машиностроительный завод им. С. М. Кирова,
Азербайджанский индустриальный университет)

Диагностирование потенциальной возможности долота при бурении в породах с разными физико-механическими свойствами представляет интерес. Время, через которое долото срабатывается на забое, может рассматриваться как независимое событие, состоящее из времени его недоработки $T - \epsilon$ (T — необходимое время сработки долота; ϵ — допустимое время недоработки) и времени переработки $T + \epsilon$. Преждевременный подъем долота вызывает увеличение среднеинтервальной потери проходки, увеличение количества рейсов, тем самым расхода долота. Передержка связана с нарушением бурового процесса и технологическими затратами.

Продолжительность срабатывания долота при разрушении породы рассчитывается исходя из критерия максимальной рейсовой скорости $v_{p \max}$ и критерия себестоимости 1 м проходки*. Использование критерия $v_{p \max}$ обеспечивает безаварийную работу, но приводит к недоработке долота, что в ряде случаев не обеспечивает значения $v_{p \max}$. При наличии крепких и твердых пород реализация критерия c_{min} в общем случае не имеет смысла. Время отработки T долота необходимо выбрать лишь в пределах, удовлетворяющих условию: $T - \epsilon \leq T_{эф} \leq T + \epsilon$. Особый интерес представляет разработка методического расчета для оценки промежуточного момента ϵ , в пределах которого выдерживается необходимый уровень технико-экономических показателей проводки скважины. Вероятность того, что в интервале от 0 до T и от 0 до $T + \epsilon$ долото работает в эффективном режиме, обозначим через $P(T)$ и $P(T + \epsilon)$ соответственно. Вероятность того, что сохраняется допустимо эффективное решение в промежуток момента ϵ , обозначим через $P(\epsilon)$. Тогда по теореме умножения вероятности имеем:

$$P(T + \epsilon) = P(T)P(\epsilon). \quad (1)$$

Отсюда

$$P(\epsilon) = P(T + \epsilon)/P(T). \quad (2)$$

* Гнеденко Б. В. Курс теории вероятностей.— М.: Наука, 1969.— 400 с.