

сутствием определенных химических составляющих в шлаке, но и с такими свойствами шлаков как вязкость, поверхностное натяжение, температура плавления. Информация об этих особенностях шлака, полученная после обработки радиолокационных сигналов, может стать в дальнейшем основой для создания системы динамического управления конвертерной плавкой, включающей в свой состав обучаемые блоки. В основе работы таких блоков лежит применение методов машинного обучения из области искусственного интеллекта.

Метод обучения по прецедентам представляет собой современный способ автоматизированного построения классификационных и регрессионных моделей. Обучение по прецедентам предполагает наличие обучающей выборки  $\{(x_i, y_i), \dots, (x_n, y_n)\}$  - совокупности прецедентов  $(x_i, y_i)$ ,  $i = (1, 2, \dots, n)$ , где вектор  $x_i$  определяет признаки (атрибуты) объекта, вектор  $y_i$  - значение искомой функции  $f: y_i = f(x_i)$ . Величину ошибки обучения характеризует функция потерь  $L(y, f(x))$ .

Применение подобных методов позволяет автоматизировать процесс настройки алгоритмов идентификации, упрощает адаптацию прикладных систем для новых технологических объектов [6], снижает требования к обслуживающему персоналу.

### Список литературы

1. **Баптизманский В.И.** Теория кислородно-конвертерного процесса. - М.: Металлургия, 1975. - 376 с.
2. **Бойченко Б.М.** Конвертерне виробництво сталі (теорія, технологія, якість сталі, конструкція агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія): Підручник / **Б.М. Бойченко, В.Б. Охотський, П.С. Харлашин.** - Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-ВАЛ», 2004. - 454 с.
3. **Головко В.І.** Радіолокаційний контроль металургійних процесів / **В.І. Головко, О.М. Кукушкін, М.В. Михайловський та ін.** // Дніпропетровськ: Журфонд, 2010. - 428 с.
4. **Верховская А.А.** Особенности применения микроволнового зондирования уровня конвертерной ванны / **А.А. Верховская, В.И. Головкин** // Наукові праці Запорізької державної інженерної академії «Металургія» № 1 (29). - Запоріжжя: ЗДІА, 2013. - С. 144-148.
5. **Верховская А.А.** Перспективы применения радиолокационной техники для управления кислородно-конвертерной плавкой / **А.А. Верховская** // Nowe technologie osiągnięcia w metalurgii i inżynierii materiałowej. Seria: Monografie nr 15. - Częstochowa: Politechnika Częstochowska, 2011. - С. 102-105.
6. **Воронцов К.В.** Математические методы обучения по прецедентам (теория обучения машин) / **К.В. Воронцов.** - Москва, 2011. - 141 с.

УДК 622.648

Ю.Г. СВИТЛИЙ, канд. техн. наук, доц., В.С. БІЛЕЦЬКИЙ, д-р техн. наук, проф.  
Донецький національний технічний університет

## САМОПЛИВНИЙ ГІДРОТРАНСПОРТ ПРИ ВИДОБУВАННІ І ЗБАГАЧЕННІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Стаття стосується питання застосування самопливного гідравлічного транспорту при видобуванні і збагаченні корисних копалин. Подана характеристика сучасних технологічних рішень самопливного гідравлічного транспорту та методика його розрахунку.

**Ключові слова:** самопливний гідравлічний транспорт, технологічні характеристики, методика розрахунку.

**Постановка проблеми та стан її вивчення.** Самопливний гідротранспорт - переміщення гідросуміші по трубах при наявності вільної поверхні, або в каналах та жолобах, яке здійснюється під впливом природного напору. В недалекому минулому його широко використовували на вугільних шахтах, рудниках, збагачувальних фабриках. Самопливне транспортування матеріалу здійснюється по ґрунту або по спеціальних провідниках (настилах, жолобах, трубах, каскадних та гвинтових спусках тощо).

Самопливний гідротранспорт - це найбільш продуктивний, малогабаритний та безпечний вид транспорту, став якого прокладають з похилом не менше 3 %. Порівняння економічної ефективності самопливного гідротранспорту з автомобільним, залізничним та конвеєрним свідчить про його безумовну перевагу.

Широке застосування самопливного транспорту обумовлене такими перевагами, як легкість нарощування траси жолобів, простота з'єднання окремих жолобів, менша вага і менша вартість одного лінійного метра жолобового ставу у порівнянні з напірним гідротранспортом,

можливість швидкого виявлення закупорок та відносна легкість розбутовування жолобів. До недоліків самопливного гідротранспорту слід віднести відсутність засобів стабілізації продуктивності системи, забутовування жолобів внаслідок попадання до них сторонніх предметів та великих грудок транспортованого матеріалу, витік транспортної води через відсутність герметизації на стиках жолобів та підвищений знос жолобів. Зменшення гідроабразивного зношування жолобів забезпечується покриттям емаллю та футеруванням зносостійкими матеріалами (керамічною плиткою, кам'яним литтям, склом, тощо) [1-4].

Сьогодні при виборі засобів транспортування часто перевага віддається не самопливному гідротранспорту, а іншим, більш сучасним способам, хоча вони і програють в економічності, простоті, технологічності тощо.

**Мета** цієї статті - характеристика сучасних технологічних рішень самопливного гідравлічного транспорту та подання методики його розрахунку.

**Викладення основного матеріалу.** Найбільше розповсюдження сьогодні у самопливному гідротранспорті знайшли жолоби трапецієподібної форми, які складаються з окремих ланок довжиною до 1,5 м.

Застосовують жолоби при похилу ґрунту не більше 15-20°. При більшому похилі застосовують труби. Розміри жолобів найбільш розповсюдженого типу наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Типорозміри жолобів для самопливного гідротранспорту

Тип жолоба	Ширина, мм		Висота, мм	Довжина, мм	Площа перерізу, м <sup>2</sup>
	внизу	зверху			
I	300	400	300	1250	0,105
II	350	450	300	1250	0,120
III	400	500	300	1250	0,135
IV	500	600	300	1250	0,165
V	570	670	300	1250	0,186

Транспортна здатність потоку води при самопливному транспортуванні визначається, в першу чергу, крупністю твердого матеріалу та концентрацією гідросуміші (масовою або об'ємною) - співвідношенням твердого матеріалу та рідкої фази в гідросуміші. Найбільша кількість транспортної води потрібна в тому випадку коли у масі транспортованого матеріалу переважають великі грудки.

Середньозважена крупність  $d_{сеп.}$  гірничої маси та крупність найбільшої грудки  $d_{max}$  є основними характеристиками твердого матеріалу, які визначають витрату води, необхідну для здійснення надійного транспортування жолобковим ставом певного похилу. Оскільки у залежності від гірничо-геологічних факторів (потужність, міцність, тривкість та стійкість вмісних порід до розмокання) гірнична маса може бути у певній мірі засмічена пустою породою, ще одною визначальною характеристикою твердого матеріалу є густина, яку також враховують при визначенні кількості води для створення несучого потоку через відношення  $\rho_s/\rho_o$ .

Необхідні для забезпечення надійного транспортування витрати води визначаються також геометричними параметрами жолоба  $b/tg\alpha$ , коефіцієнтом тертя транспортованого матеріалу по дну та стінках жолобів  $f_m$ , похилом  $i$ , густиною гідросуміші  $\rho_{см}$  та коефіцієнтом  $k_y$ , що визначає якість укладення ставу жолобів, та коефіцієнтом шорсткості стінок, які обмежують потік,  $n$ .

У загальному вигляді цю залежність можна подати рівнянням

$$Q_o = f\left(\frac{b}{tg\alpha}, d_{max}, d_{сеп.}, f_T, \frac{\rho_s}{\rho_o}, \rho_m, K_y, n, \frac{1}{i}\right). \quad (1)$$

Аналогічно похил необхідний для самопливного гідротранспорту вугілля (породи, руди) в трапецієподібних жолобах може бути визначений як

$$i = f\left(\frac{b}{tg\alpha}, d_{max}, d_{сеп.}, f_T, \frac{\rho_s}{\rho_o}, \rho_m, K_y, n, Q_o\right). \quad (2)$$

У кожному окремому випадку необхідні для здійснення надійного транспортування гірничої маси витрати води мають бути достатньо обґрунтованими. На підставі узагальнення досвіду

експлуатації самопливних гідротранспортних систем нами рекомендовано [1] такі параметри з урахуванням якості укладення жолобів та наявності місцевих опорів (табл. 2).

Таблиця 2

Рекомендовані параметри самопливного гідротранспорту

Матеріал, який транспортують	Тип жолобів			
	металеві		емальовані	
	глибина потоку перед введенням твердого матеріалу	похил	глибина потоку перед введенням твердого матеріалу	похил
Вугілля 0-250 мм	40-50 мм Т:Р = 1:4,5	0,05 Т:Р = 1:4,5	40-45 мм Т:Р = 1:3	0,02-0,03 Т:Р = 1:3
Порода 0-250 мм	60-75 мм Т:Р = 1:15	0,07-0,08 Т:Р = 1:15	60-65 мм Т:Р = 1:12	0,05 Т:Р = 1:12
Мінімальні похили				
Вугілля 0-250 мм	90-100 мм Т:Р = 1:7,5	0,03 Т:Р = 1:7,5	90-100 мм Т:Р = 1:5	0,015-0,02 Т:Р = 1:5
Порода 0-250 мм	0,07		0,04	

Для кожного похилу жолобового ставу існує певний інтервал витрат транспортуючої рідини, який відповідає мінімуму витрат енергії транспортної рідини на 1 т транспортованого матеріалу

$$E = \frac{Q_o \cdot \rho_o}{Q_s \cdot \rho_s} \cdot H \quad (3)$$

Практикою відмічено, а експериментальними дослідженнями підтверджено значну роль, яку відіграє у самопливному гідротранспорті сила тертя, що залежить від стану поверхні взаємодіючих матеріалів та враховується коефіцієнтом тертя. Визначені за результатами експериментів величини коефіцієнтів тертя для вугілля та породи наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Величини коефіцієнтів тертя для самопливного гідротранспорту

Матеріал жолоба	Стан жолоба	Середнє значення коефіцієнта тертя для		
		пісковіку	аргіліту	вугілля
Металевий:				
без покриття	Сухий	0,65	0,60	0,47
	Мокрий	0,66	0,46	0,36
емальований	Сухий	0,27-0,39	0,37	0,33
	Мокрий	0,43-0,45	0,30	0,225
Армований склом	Сухий	0,37	0,36	0,27
	Мокрий	0,45	0,34	0,22
Армований метлахською плиткою	Сухий	0,55	0,48	0,53
	Мокрий	0,57	0,54	0,54
Армований кахельною плиткою	Сухий	0,31	0,33	0,26
	Мокрий	0,52	0,36	0,31
Армований дерев'яними струганими дошками	Сухий	0,65	0,50	0,55
	Мокрий	0,78	0,61	0,62
Армований торцевими дерев'яними вставками	Сухий	0,87	0,74	0,79
	Мокрий	1,09	0,89	0,92
Армований гумою	Сухий	0,92	0,70	0,70
	Мокрий	0,65	0,67	0,76

Оптимальною формою перерізу жолоба, який призначено до транспортування гірничої маси, слід вважати таку, при якій глибина потоку забезпечує надійне транспортування вугілля та породи, виходячи з умов мінімальної витрати енергії на 1 т матеріалу, який транспортують.

Площа перерізу потоку  $\omega$ , глибина потоку  $H$ , гідравлічний радіус  $R$  та кут нахилу стінок жолоба до горизонту  $\beta$  зв'язані такими залежностями

$$\omega = b \cdot H + H^2 \cdot ctg \beta, \quad (4)$$

$$\omega = b \cdot R + 2HR \cdot \frac{1}{\sin \beta}, \quad (5)$$

де  $b$  - ширина жолоба по низу.

Заданій площі перерізу потоку та куту  $\beta=78^\circ$  відповідає певна ширина жолоба, яка і є гідравлічно найвигіднішою. Збільшити транспортувальну здатність потоку через збільшення його глибини можна змінюючи ширину жолоба та виходячи з умови

$$b \geq (1,5 \dots 2) d_{\max}, \quad (6)$$

де  $d_{\max}$  - максимальний розмір грудки твердого матеріалу, мм.

Найбільша транспортна здатність потоку при переміщенні монодисперсних (класифікованих) матеріалів крупністю більше за 6 мм в інтервалі похилів 0,04-0,07 забезпечується умовою

$$h_{\text{опт}} = (0,4 \dots 0,5) d_{\text{сеп}}, \quad (7)$$

де  $h_{\text{опт}}$  - глибина потоку рідини до введення твердого матеріалу, мм.

Для полідисперсного (рядового) матеріалу в інтервалі похилу 0,04-0,10

$$h_{\text{опт}} = (0,25 \dots 0,5) d_{\text{сеп}}. \quad (8)$$

Транспортна здатність потоку залежить також від форми частинок матеріалу, який транспортують. Вона може бути найменшою при довгастій, дуже витягнутій з гострими гранями формі частинок, а найбільшою - при кулеподібних частинках, обкатаних на кшталт морської гальки.

На транспортувальну здатність потоку впливає також якість виготовлення жолобів, монтажу жолобових ставів, шорсткість зварних виступів, тощо. Певне значення мають місцеві опори: звуження, коліна і повороти, перетини (зливання) двох потоків, виположування ставу жолобів та уступи значної величини.

Рекомендується гідравлічний розрахунок самопливного гідротранспорту виконувати наступним чином.

Є.А. Бессонов [5] пропонує для наближених інженерних розрахунків похилів жолобів та швидкості течії гідросуміші різних ґрунтів метод А.М. Царевського.

Похил жолоба (каналу) визначається за формулою

$$i = \frac{\lg Q_{\text{см}} + 0,04C + A}{1000R}. \quad (9)$$

Розрахункова швидкість руху гідросуміші у жолобах

$$u_{\text{сеп}} = 64 \sqrt{R^3} \cdot \sqrt{(\rho_{\text{см}} - 1) w_o} \cdot a \quad (10)$$

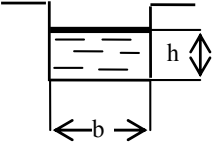
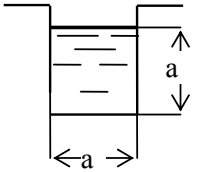
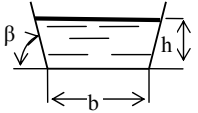
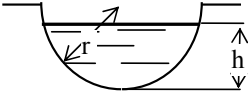
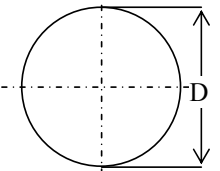
$$a = \left[ \frac{d_{0-80}}{(0,5d_{\text{сеп}} + 0,8)d_{\text{сеп}}} \right]^{0,2},$$

де  $Q_{\text{см}}$  - витрата гідросуміші, м<sup>3</sup>/с;  $C$  - масова концентрація гідросуміші, %;  $R$  - гідравлічний радіус, який визначають за допомогою формул, наведених у табл. 4;  $A$  - коефіцієнт, який характеризує склад ґрунту у гідросуміші (табл. 5);  $\rho_{\text{см}}$  - густина гідросуміші, т/м<sup>3</sup>;  $w_o$  - осереднена гідравлічна крупність ґрунту, м/с

$$w_o = (\sum w_{\text{icc}} \cdot \gamma_i) / 100, \quad (11)$$

де  $w_{\text{icc}}$  - гідравлічна крупність стислого падіння окремих фракцій;  $\gamma$  - вміст цих фракцій у даній породі, %;  $d_{0-80}$  та  $d_{\text{сеп}}$  - середньозважений розмір (діаметр) фракцій ґрунту від 0 до 80 % його складу та всього складу відповідно.

Визначення гідравлічного радіусу для жолобів різної форми

Форми потоку	Гідравлічний радіус
	$R = \frac{b \cdot h}{b + 2h}$
	$R = a/4$
	$R = h(h + btg\beta) / \left[ \frac{tg\beta(b + 2h)}{\sin \beta} \right]$
	$R = \frac{r}{\frac{2 - \sqrt{2hr - h^2}(r - h)}{\sqrt{8hr + 1,33h^2}}}$
	$R = D/4$

Таблиця 5

Величина коефіцієнта А у формулі (9)

Вид ґрунтів	Коефіцієнт А
Глинисті та суглинисті	1,84
Супісок та пісок	2,0
Крупний пісок з невеликим вмістом гравію	3,0
Гравелистий	3-5

Таблиця 6

Швидкість падіння частинок гірничої маси у чистій воді (гідравлічна крупність)  $w$ , см/с при атмосферному тиску в інтервалі температур 0-20 °С

Розмір частинок, $d$ , мм	Гідравлічна крупність $w$ , см/с		
	порода $\rho_s = 2650 \text{ кг/м}^3$	антрацит $\rho_s = 1550 \text{ кг/м}^3$	вугілля $\rho_s = 1350 \text{ кг/м}^3$
0,5	5,402	2,4	2,0
1,0	11,002	4,1	3,4
1,5	16,00	5,0	4,5
2,0	19,00	6,4	6,1
2,5	21,25	7,3	7,4
3,0	23,25	8,0	8,0
5,0	30,00	10,9	10,7
7,0	35,50	13,1	12,9
10,0	42,5	16,1	15,3
12,5	47,7	18,4	16,9
15,0	52,0	20,4	18,2
17,0	56,2	21,5	19,3
20,0	60,2	22,9	20,0
22,5	63,7	23,8	21,8

25,0	67,2	24,8	22,5
30,0	73,6	26,0	24,2
40,0	87,0	30,2	29,0
50,0	98,5	33,7	32,7
60,0		37,0	36,0
70,0		40,0	38,9
80,0		42,5	41,5
90,0		45,0	44,0
100,0		47,3	46,5

Таблиця 7

Гідравлічна крупність ґрунтів при температурі 10 °С

Діаметр частинок, мм	Гідравлічна крупність, см/с	Діаметр частинок, мм	Гідравлічна крупність, см/с	Діаметр частинок, мм	Гідравлічна крупність, см/с	Діаметр частинок, мм	Гідравлічна крупність, см/с
30,0	73,6	3,0	22,75	0,37	3,90	0,065	0/201
27,5	70,6	2,5	20,92	0,35	3,50	0,06	0,173
25,0	67,2	2,0	18,75	0,32	3,12	0,05	0,124
22,5	63,2	1,75	17,32	0,3	2,74	0,02	0,020
20,0	60,2	1,5	15,65	0,27	2,38	0,01	0,0049
17,5	56,2	1,25	13,80	0,25	2,05	0,005	0,0012
15,0	52,0	1,0	11,68	0,2	1,45	0,003	0,0005
12,5	47,7	0,9	10,79	0,15	0,92	0,001	0,000049
10,0	42,5	0,85	10,29	0,14	0,81		
9,0	40,3	0,8	9,81	0,13	0,72		
8,0	38,0	0,77	9,56	0,12	0,62		
7,0	35,5	0,75	9,23	0,11	0,54		
6,0	32,8	0,65	7,88	0,1	0,46		
5,0	30,0	0,6	7,16	0,09	0,375		
4,0	26,8	0,5	5,67	0,08	0,30		
3,5	24,53	0,4	4,26	0,07	0,232		

Для твердого матеріалу різномірної за крупністю гідравлічну крупність розраховують як середньозважену величину, мм/с

$$w_{cp.} = \left( \sum_{i=1}^n w_{cp.i} \cdot \lambda_i \right) / 100. \quad (12)$$

де  $w_{cp.i}$  - середньозважена гідравлічна крупність, яку підраховано для  $i$ -го класу по  $d_{сер.}$  класу;  $\gamma$  - вихід класу у загальній пробі, %.

Таблиця 8

Дані для розрахунку жолобів за методом А.М. Царевського

Ширина жолоба по дну, м $b = 2h$	Наповнення, м $h = b/2$	Транспортований ґрунт					
		транспортований ґрунт					
		глина та суглинок без грудок		супісок та пісок дрібний та середній		пісок крупний з невеликим вмістом гравію	
		$u_{cp.}$ , м/с	$Q_{cm.}$ , м <sup>3</sup> /с	$u_{cp.}$ , м/с	$Q_{cm.}$ , м <sup>3</sup> /с	$u_{cp.}$ , м/с	$Q_{cm.}$ , м <sup>3</sup> /с
0,31	0,155	1,7	0,082	2,0	0,100	2,5	0,120
0,38	0,190	1,8	0,130	2,1	0,150	2,8	0,200
0,44	0,220	2,1	0,204	2,2	0,213	3,0	0,290
0,50	0,250	2,2	0,275	2,4	0,300	3,3	0,410
0,62	0,310	2,5	0,490	2,9	0,557	3,9	0,749
0,75	0,375	2,7	0,760	3,2	0,900	4,2	1,180

Приклад розрахунку.

Вихідні дані для розрахунку:  $Q_{cm.} = 0,3$  м<sup>3</sup>/с;  $C = 17$  %; склад ґрунту - пісок середньої крупності; коефіцієнт шорсткості жолобів  $\Delta_E = 0,012$ .

Згідно до табл. 8 для  $Q_{см} = 0,3 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $b = 0,5 \text{ м}$ ;  $h = 0,25 \text{ м}$ ;  $u_{ср.} = 2,4 \text{ м/с}$ .  
Гідравлічний радіус згідно табл. 4

$$R = \frac{b \cdot h}{b + 2h} = \frac{0,5 \cdot 0,25}{0,5 + 2 \cdot 0,25} = 0,125 \text{ м.}$$

Визначаємо похил жолоба за формулою (9) при  $C = 17 \%$ ;  $A = 2$ .

$$i = \frac{\lg 0,3 + 0,04 \cdot 17 + 2}{1000 \cdot 0,125} = 0,0173.$$

Визначимо величину  $a$  за формулою (10) при  $d_{0-80} = 0,2 \text{ мм}$ ;  
 $d_{ср.} = 0,2 \text{ мм}$ .

$$a = \left[ \frac{0,2}{(0,5 \cdot 0,2 + 0,8) \cdot 0,2} \right]^{0,2} = 1,02.$$

Величина розрахункової швидкості гідросуміші у жолобі складатиме при  $w = 0,02 \text{ м/с}$

$$u'_{ср.} = 64 \sqrt{0,125} \cdot \sqrt[3]{(1,07 - 1,0)0,02} \cdot 1,02 = 2,46.$$

Отже, розрахункова швидкість майже дорівнює швидкості, яку визначено з табл. 8.

**Висновки.** 1. Самопливний гідравлічний транспорт продовжує в сучасних умовах мати велику нішу для використання при видобуванні і збагаченні корисних копалин.

Порівняння економічної ефективності самопливного гідравлічного транспорту з автомобільним, залізничним та конвеєрним свідчить про його безумовну перевагу.

2. Подана характеристика сучасних технологічних рішень самопливного гідравлічного транспорту та методика його розрахунку. Це дозволяє актуалізувати застосування такого транспорту на сучасних гірничих підприємствах, сприяє його подальшому розвитку.

#### Список літератури

1. Світлий Ю.Г. Гідравлічний транспорт / Ю.Г. Світлий, В.С. Білецький. - Донецьк: Східний видавничий дім, 2009. - 436 с.
2. Джваршеншвили А.Г. Системы трубного транспорта горнообогатительных предприятий. - М. - Недра, 1981. - 384 с.
3. Покровская В.Н. Трубопроводный транспорт в горной промышленности. - М. - Недра, 1985. - 192 с.
4. Харин А.И., Новиков М.Ф. Гидромеханизация земляных работ в строительстве. - М. -Стройиздат, 1989. - 192 с.
5. Бессонов Е.А. Технология и механизация гидромеханизированных работ: Справочное пособие для инженеров и техников. - М. - Центр, 1999. - 543 с.

Рукопись поступила в редакцию 25.03.14

УДК 621.926.2/3: 622.73

А.Д. УЧИТЕЛЬ, д-р техн. наук, проф., Н.А. Дац, аспирант  
КметИ «Криворожский национальный университет»

### МЕТОДИКА ВЫБОРА ТИПА ДРОБИЛКИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ СНИЖЕНИЕ КРУПНОСТИ ЧАСТИЦ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ, ПОДАВАЕМОЙ НА ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ

Приведена методика выбора типа дробилки, обеспечивающей минимизацию размеров частиц продуктов дробления железной руды перед подачей ее на измельчение из ряда применяемых и перспективных для применения типов дробилок.

**Проблема и ее связь с практическими задачами.** Процесс обогащения железных руд включает последовательные технологические операции дробления (в реальных условиях до максимальных размеров частиц - 12-35 мм), и измельчения продуктов дробления до фракций (- 0,050-0,074 мм) в барабанных мельницах с инородной измельчающей средой, представленной в виде шаров, цепельсов, стержней, рудной гали, а также в мельницах самоизмельчения.

Снижение крупности продуктов измельчения исходной руды для более полного раскрытия рудных минералов приводит к повышению содержания железа в концентратах, являющегося