

# *Проектирование обогачительных фабрик*

Лекция 4 Выбор и расчет оборудования для дробления и  
грохочения

Преподаватель: Мотовилов Игорь Юрьевич  
доктор PhD кафедры «Металлургия и обогащение  
полезных ископаемых»

[motovilov88@inbox.ru](mailto:motovilov88@inbox.ru)

# *Содержание*

- 1. Выбор и расчет оборудования для дробления**
- 2. Выбор и расчет оборудования для грохочения**

## Выбор и расчет оборудования для дробления

При выборе дробилки крупного дробления необходимо прежде всего учитывать возможность создания производственного потока от забоя до буферного склада крупнодробленой руды. Выбор каждого из звеньев этого потока основан на согласованном расчете по производительности, обеспечивающем максимальную эффективность всего потока при наименьшем числе работающих агрегатов, в том числе экскаваторов, автосамосвалов и ленточных конвейеров.

Для крупного дробления применяются обычно **щековые** или **конусные** дробилки. Размер дробилки для первой стадии дробления должен приниматься таким, чтобы необходимая производительность фабрики обеспечивалась одной дробилкой.

При технико-экономическом сравнении установки щековых и конусных дробилок для крупного дробления необходимо учитывать следующее. **Конусные дробилки** имеют **большую** производительность, нежели **щековые**, так как при одинаковой ширине длина разгрузочного отверстия у конусных дробилок примерно в **2,5–3 раза больше**, чем у щековых. Поэтому конусные дробилки, имеющие производительность **до 40–60 тыс. т в сутки**, обычно устанавливаются на фабриках **большой производительности**. Щековые дробилки имеют максимальную производительность около **20 тыс. т в сутки**.

## Выбор и расчет оборудования для дробления

### Исходные данные для расчета дробилок

Производительность выбранной дробилки можно определять по теоретическим, эмпирическим формулам и по данным каталогов заводов-изготовителей. Для расчета производительности дробилки используются следующие исходные данные:

- крупность максимальных кусков в исходном питании, мм;
- ширина разгрузочной щели дробилки, мм;
- требуемая производительность;
- техническая характеристика проектируемой дробилки;
- конструктивные особенности установки дробилки.

Объемная производительность щековой дробилки (м<sup>3</sup>/ч) может быть определена по формуле:

$$Q_{об} = 60nV = 60n \frac{(i_2 + i_1)(i_2 - i_1)}{2tg\alpha} L$$

где  $n$  – частота вращения коленчатого вала, мин<sup>-1</sup>;

$\alpha$  – угол захвата;

$i_1$  и  $i_2$  – минимальная и максимальная ширина разгрузочной щели, м;

$L$  – длина загрузочного отверстия дробилки, м.

## Выбор и расчет оборудования для дробления

С учетом плотности материала  $\delta$  и коэффициента разрыхления материала  $k$ , выходящего из дробилки, весовая производительность дробилки (т/ч).

$$Q_B = 60nk\delta L \frac{(i_2 + i_1)(i_2 - i_1)}{2tg\alpha} L$$

Производительность щековых дробилок (т/ч) можно определить по эмпирической формуле

$$Q_B = 0,1Li_2$$

где  $0,1$  – удельная производительность дробилки на  $1 \text{ см}^2$  площади разгрузочной щели. В зависимости от типоразмера дробилки эта величина колеблется от  $0,11$  до  $0,13 \text{ т}/(\text{см}^2 \cdot \text{ч})$ .

Производительность щековых дробилок (т/ч) можно определять по удельной производительности

$$Q_{щ} = q_{щ}Li$$

где  $q_{щ}$  – удельная производительность на  $1 \text{ см}^2$  площади разгрузочной щели,  $\text{т}/(\text{см}^2 \cdot \text{ч})$ ;

$L$  – длина разгрузочной щели дробилки, см;

$i$  – ширина разгрузочной щели, см.

Удельная производительность щековых и конусных дробилок для крупного дробления приведена в табл. 4.1.

Щековые дробилки		Конусные дробилки	
Типоразмер дробилки	$q_{щ}, \text{ т}/(\text{см}^2 \cdot \text{ч})$	Типоразмер дробилки	$q_k, \text{ т}/(\text{см}^2 \cdot \text{ч})$
ЩДП 600x900	0,11	ККД 500/75	24
ЩДП 900x1200	0,11	ККД 900/160	42...50
ЩДП 1200x1550	0,13	ККД 1200/150	60
ЩДП 1500x2100	0,13	ККД 1500/180	105
ЩДП 2100x2500	0,13	ККД 1500/300	139

Таблица 4.1 – Удельная производительность щековых и конусных дробилок крупного дробления

## Выбор и расчет оборудования для дробления

По каталогам заводов-изготовителей щековые дробилки выбираются в зависимости от размера максимального куска в питании и требуемой производительности. В каталогах производительность дробилок указана для руд средней крепости с насыпной массой **1,6 т/м<sup>3</sup>**. Для руд, имеющих другие физические свойства, вводятся поправки на крепость руды, крупность руды и влажность. Тогда производительность проектируемой дробилки  **$Q_n$  (т/ч)**

$$Q_n = Q_k \delta k_{\text{креп}} k_{\text{круп}} k_{\text{вл}}$$

где  **$Q_k$**  – объемная производительность дробилки по каталогу, м<sup>3</sup>/ч;

**$\delta$**  – насыпная масса руды, т/м<sup>3</sup>;

**$k_{\text{креп}}$**  – поправочный коэффициент на крепость руды, зависящий от крупности руды по шкале М.М. Протоdjяконова. Значения этого и других поправочных коэффициентов приведены в табл. 4.2;

**$k_{\text{круп}}$**  – поправочный коэффициент на крупность питания;

**$k_{\text{вл}}$**  – поправочный коэффициент на влажность руды.

Поправочный коэффициент	Крепость руды по шкале Протоdjяконова							
	Мягкая		Средняя		Твердая		Весьма твердая	
	5...10		10...15		15...18		18...20	
Коэффициент $k_{\text{креп}}$	1,2		1,0		0,95		0,9	
Коэффициент $k_{\text{вл}}$	Влажность руды, %							
	4	5	6	7	8	9	10	11
	1	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,65
Коэффициент $k_{\text{круп}}$	Содержание крупных классов в питании, %							
	5	10	20	30	40	50	70	80
	1,1	1,08	1,05	1,03	1,0	0,97	0,95	0,89

**Таблица 4.2 – Поправочные коэффициенты для расчета производительности щековых дробилок**

## Выбор и расчет оборудования для дробления

Часовая производительность конусных дробилок (т/ч) для крупного дробления может быть определена также по теоретической формуле

$$Q = \frac{377D_n(i+r)r\delta}{\operatorname{tg}\alpha_1 + \operatorname{tg}\alpha_2}$$

где  $D_n$  – нижний диаметр неподвижного конуса, м;

$n$  – частота вращения эксцентрика, мин<sup>-1</sup>;

$i$  – минимальная ширина разгрузочной щели, м;

$r$  – эксцентриситет, м;

$\delta$  – насыпная масса материала, т/м<sup>3</sup>;

$\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – углы наклона конусов к вертикали, град.

Может быть использована и эмпирическая формула

$$Q = 210B^2\sqrt{2B + k\Delta}$$

где  $k$  – коэффициент разрыхления;

$\Delta$  – плотность руды, т/м<sup>3</sup>.

Ориентировочно производительность конусных дробилок (т/ч) может быть определена по удельной производительности

$$Q = q_k i$$

где  $i$  – ширина разгрузочного отверстия, см;

$Q_k$  – удельная производительность, т/(см·ч).

## Выбор и расчет оборудования для дробления

Выбор дробилок среднего и мелкого дробления производится как при расчете дробилок крупного дробления. Ориентировочно одна дробилка **КСД** может обеспечить производительность по руде **4...5 млн т в год**, а дробилка **КМД** – **2,5...3 млн т в год**.

Производительность дробилок **КСД** и **КМД** (т/ч) может быть определена по удельной производительности на **1 см** ширины разгрузочной щели дробилки (табл. 4.3).

$$Q = qi.$$

**Таблица 4.3 – Удельная производительность дробилок КСД и КМД для руд с насыпной массой 1,6 т/м<sup>3</sup>**

Дробилки КСД	Удельная производительность, т/(см·ч)	Дробилки КМД	Удельная производительность, т/(см·ч)
600	16	–	–
900	32	–	–
1200	55	1200	95
1750	95	1750	180
2200	180	2200	330
3000	280	3000	620



## Выбор и расчет оборудования для дробления

Потребная энергия для дробления 1 т руды (кВт·ч/т) может быть определена по методике **Бонда**

$$W_{\text{пр}} = 7,5W_i \left( \frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right)$$

где  $W_i$  – индекс работы Бонда – расход энергии на дробление и измельчение полезного ископаемого от бесконечного массива ( $D = \infty$ ) до 80 % класса – 0,1 мм, кВт·ч/т. Индекс работы  $W_i$  для некоторых руд показан в табл. 4.4;

$D_{80}$  и  $d_{80}$  – размеры отверстий сит, через которые просыпается 80 % минерала, соответственно для исходного питания и продукта дробления, мм.

**Таблица 4.4 – Рабочий индекс Бонда  $W_i$  для некоторых типов руд**

Тип руд	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	$W_i$ , кВт·ч/т
Медные	3020	12,72
Свинцовые	3350	11,90
Свинцово-цинковые	3360	10,93
Цинковые	3640	11,65
Пиритные	4060	8,93
Никелевые	3280	13,65
Оловянные	3955	10,90
Золотосодержащие	2810	14,93
Титансодержащие	4010	12,33
Магнетитовые	3,88	9,97
Гематитовые	5520	12,84
Уголь	1400	13,00

## Выбор и расчет оборудования для дробления

Количество устанавливаемых дробилок  $n = Q_{\text{треб}}/Q_{\text{расч}}$ ; тогда коэффициент загрузки составит

$$K_3 = \frac{Q_{\text{треб}}}{Q_{\text{расч}} n}$$

Результаты расчета дробилок оформляются в виде табл. 4.5.

**Таблица 4.5 – Результаты расчета дробильного оборудования**

Стадии дробления	Производительность		Крупность, мм		Типоразмер дробилки	Ширина, мм		Производительность дробилки, т/ч	Количество дробилок, шт.	$K_3$
	т/ч	м <sup>3</sup> /ч	начальная	конечная		приемной щели	разгрузочной щели			
Крупное										
Среднее										
Мелкое										

Производительность двухвалковой дробилки (т/ч) прямо пропорциональна размеру разгрузочного отверстия и частоте вращения валков. Она может быть определена по эмпирической формуле

$$Q = 60\mu\pi DnLi\delta$$

где  $D$  – диаметр валка, м;

$L$  – длина валка, м;

$i$  – ширина щели между валками, м;

$n$  – частота вращения валков, мин<sup>-1</sup>;

$\mu$  – коэффициент разрыхления, равный 0,25;

$\delta$  – насыпная масса материала, т/м<sup>3</sup>.

## Выбор и расчет оборудования для грохочения

**Грохочение** – это процесс разделения (классификации) руд и продуктов обогащения на классы по крупности. Грохочению может подвергаться материал крупностью **от 1200 до 0,05 мм**. Операция грохочения при обогащении полезных ископаемых имеет большое значение, особенно в технологии рудоподготовки и в зависимости от своего назначения в схемах обогащения может быть подготовительной, вспомогательной или самостоятельной.

Требуемую площадь грохочения колосниковых грохотов (м<sup>2</sup>) можно определить по эмпирической формуле

$$F = \frac{Q}{q_0 a \rho_n k}$$

где **Q** – требуемая производительность, т/ч;

**q<sub>0</sub>** – удельная объемная производительность, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> на 1 мм щели грохота;

**ρ<sub>n</sub>** – насыпная масса руды, т/м<sup>3</sup>;

**a** – размер отверстий, мм;

**k** – коэффициент, учитывающий эффективность грохочения, при **E = 0,5...0,6 k = 2**, а при **E = 0,65...0,7 k = 1**.

# Выбор и расчет оборудования для грохочения

Производительность инерционных грохотов  $Q$  зависит от площади просеивающей поверхности грохота  $F$ , размера отверстий сита, от которого, в свою очередь, зависят удельная объемная производительность грохота и эффективность грохочения, а также от условий работы грохота.

Производительность (т/ч) обычно определяется по формуле

$$Q = Fq_0k_1k_2k_3k_4k_5k_6$$

где  $Q$  – производительность грохота по исходному материалу, т/ч;

$F$  – площадь просеивающей поверхности грохота, м<sup>2</sup>;

$q_0$  – удельная объемная производительность грохота, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч);

$k_1 - k_6$  – поправочные коэффициенты (табл. 4.6).

Удельная объемная производительность инерционных грохотов  $q_0$  приведена ниже:

сита, мм..... 5 7 10 16 22 26 35 42 48 52 65 80 85

$q$ , м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч) .....18 22 28 38 45 49 58 64 69 71 80 89 92

**Таблица 4.6 – Поправочные коэффициенты для расчета производительности инерционных грохотов**

Производительность двухситных грохотов определяется как по верхнему, так и по нижнему ситам. Вследствие неполного использования нижнего сита эффективная площадь его принимается равной **0,7F**.

Коэффициент	Условия, учитываемые коэффициентом	Коэффициенты при содержании зерен размером менее 0,5 размера отверстий, %										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	
$k_1$	Влияние мелочи	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	
		Содержание зерен размером больше размера отверстий сита, %										
$k_2$	Влияние крупных зерен	10	20	25	30	40	50	60	70	80	90	
		0,94	0,97	1,00	1,03	1,09	1,18	1,32	1,55	2,00	3,36	
$k_3$	Эффективность грохочения	Эффективность грохочения, %										
		40	50	60	70	80	90	92	94	96	98	
$k_4$	Форма зерен и материал	Дробленый разный			Округленная галька				Уголь			
		1,0			1,25				1,5			
$k_5$	Влияние влажности	С отверстиями сит менее 25 мм				С отверстиями сит более 25 мм						
		Сухой		Влажный		Комкующийся			В зависимости от влажности			
$k_6$	Способ грохочения	С отверстиями сит менее 25 мм				С отверстиями сит более 25 мм						
		Сухое		Мокрое			Любое					
		1,0		1,25...1,40			1,4					

## Выбор и расчет оборудования для грохочения

**Барабанные грохоты** имеют довольно простую конструкцию и, вращаясь с небольшой частотой (**10...20 мин<sup>-1</sup>**), не оказывают больших нагрузок на поддерживающие строительные конструкции, поскольку работают спокойно, без вибраций.

Диаметр барабана  $D$  не должен превышать размер максимального куска в питании **более чем в 14 раз**, т.е.

$$D \geq 14d_{\max},$$

а скорость вращения барабана (**мин<sup>-1</sup>**) составляет:

$$n = \frac{13}{\sqrt{D}} \dots \frac{20}{\sqrt{D}}$$

**Дуговые грохоты, или дуговые сита**, относятся к неподвижным гидравлическим грохотам и применяются для мокрого грохочения и обезвоживания материала крупностью **от 0,05 до 3 мм**.

Скорость подачи пульпы самотеком составляет **от 0,5 до 3 м/с**, а при подаче насосом – **до 6...10 м/с**. Пульпа, поступающая на сито, может иметь плотность **от 7 до 70 %** твердого при эффективности грохочения до **90 %**.

Объемная производительность дугового грохота (**м<sup>3</sup>/ч**) определяется по формуле

$$Q = 160Fv,$$

где  $Q$  – производительность грохота, **м<sup>3</sup>/ч**;

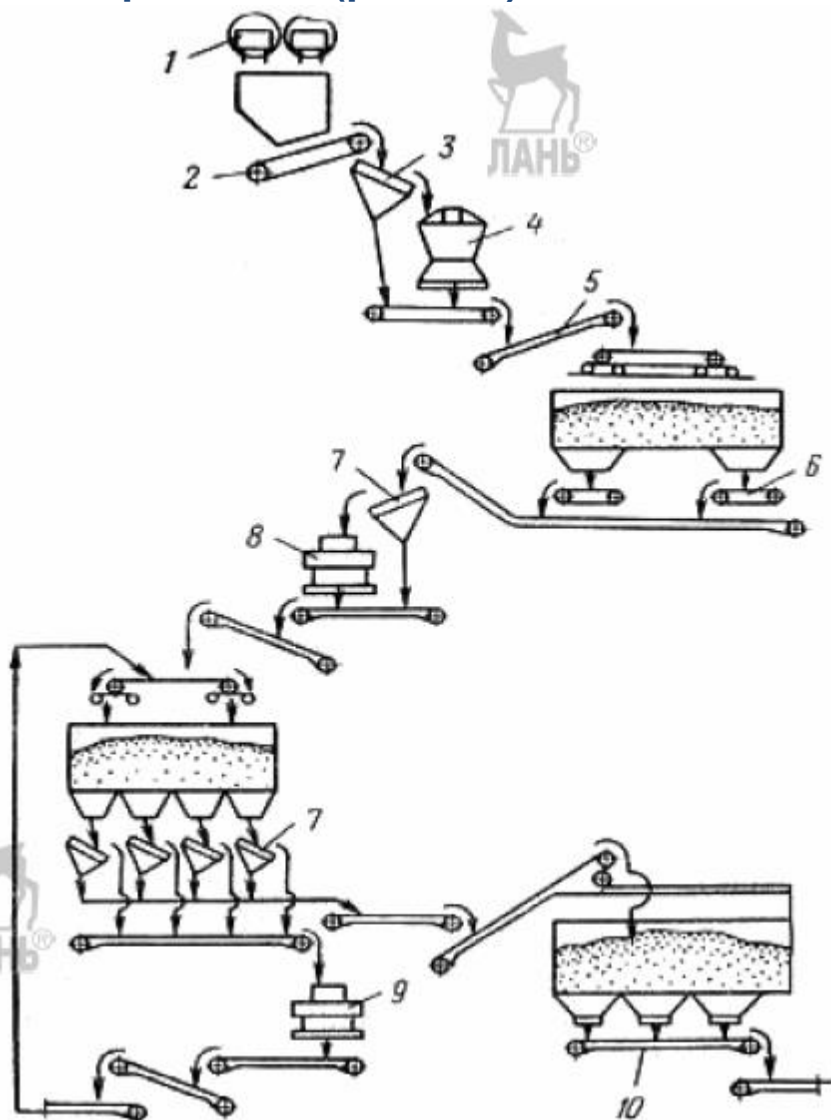
$F$  – площадь живого сечения грохота, **м<sup>2</sup>** (коэффициент живого сечения щелевых сит **0,3...0,4**);

$v$  – скорость подачи пульпы на сито (**обычно 3...8 м/с**).

Размер щели принимается в **1,1–3** раза больше расчетной крупности подрешетного продукта.

## Выбор и расчет оборудования для грохочения

После выбора и расчета оборудования для дробления и грохочения составляются количественная схема дробления и схема цепи аппаратов со спецификацией (рис. 4.1).

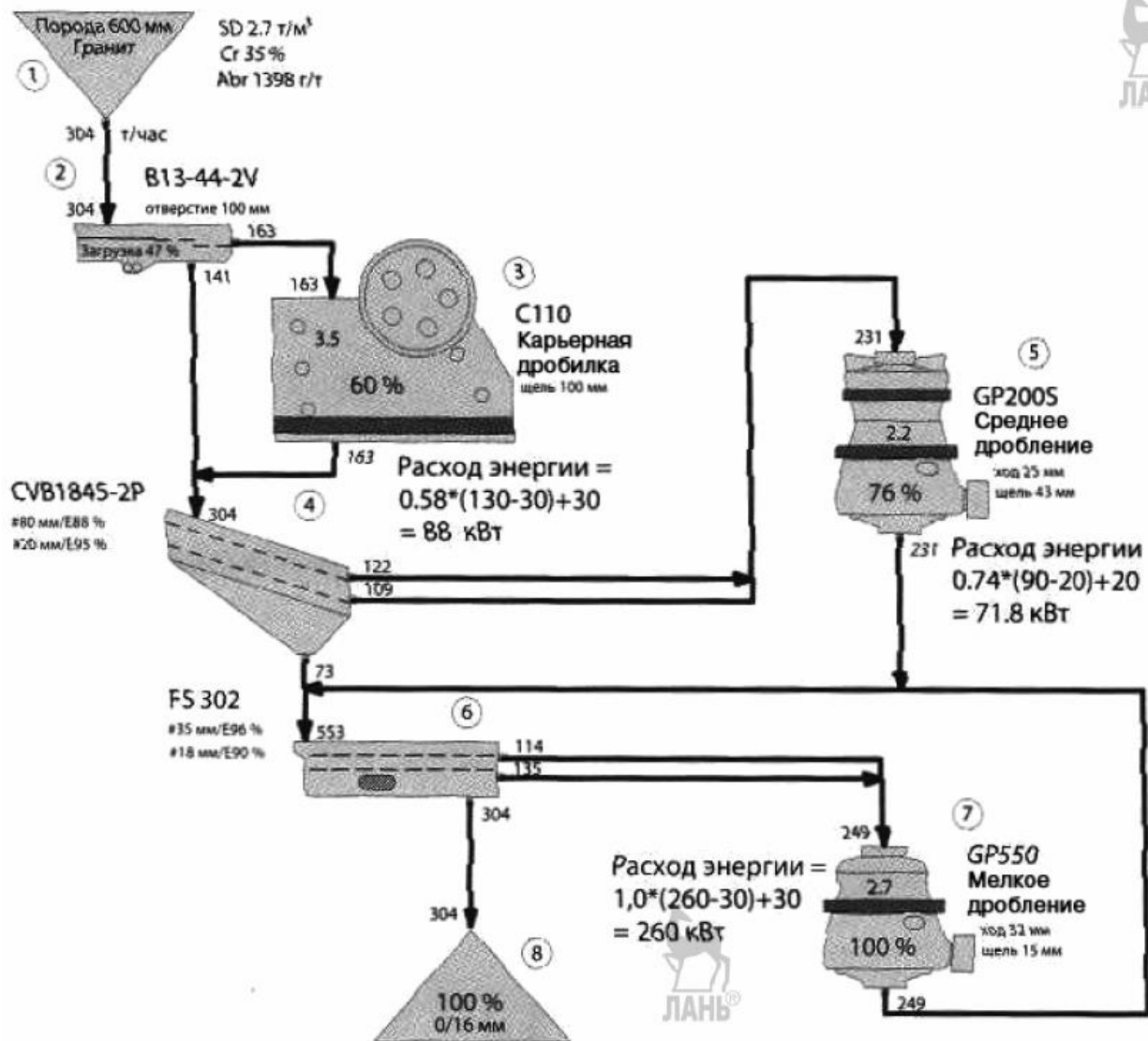


**Рис. 4.1. Схема цепи аппаратов дробильного отделения:**

1 – саморазгружающиеся вагоны (думпкары); 2 – пластинчатый питатель 1800×18000 мм; 3 – грохот колосниковый; 4 – конусная дробилка ККД-900/160; 5 – ленточный конвейер; 6 – пластинчатый питатель; 7 – инерционные грохоты 1500×3000 мм; 8 – конусная дробилка КСД-2200; 9 – конусная дробилка КМД-2200; 10 – конвейер-питатель

# Выбор и расчет оборудования для грохочения

В проектах зарубежных обогатительных фабрик не принято приводить качественно-количественные схемы. Представляются только схемы цепи аппаратов по циклам с указанием на них качественных показателей и типа устанавливаемых аппаратов. Пример такой схемы цикла дробления и измельчения представлен на рис. 4.2.



**Рис. 4.2. Схема цепи аппаратов отделения дробления:**

- 1 – приемный бункер 500 т;
- 2 – пластинчатый питатель AF-5;
- 3 – щековая дробилка;
- 4 – грохот вибрационный;
- 5 – конусная дробилка среднего дробления;
- 6 – грохот вибрационный;
- 7 – конусная дробилка мелкого дробления;
- 8 – склад мелкодробленой руды