



УДК 661.666.413:621.926.46

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ МИКРОИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА



MICRO-CHOPPER DESIGN OPTIMIZATION IN CARBON BLACK PRODUCTION

Васильев Пётр Сергеевич

кандидат технических наук,
доцент кафедры «Процессы и аппараты химических
и пищевых производств»
Волгоградский государственный технический университет
nestorvv@mail.ru

Титунина Екатерина Олеговна

студент кафедры «Процессы и аппараты химических
и пищевых производств»,
Волгоградский государственный технический университет
katyusha.titunina@mail.ru

Шагарова Анжелика Анатольевна

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Процессы и аппараты химических
и пищевых производств»,
Волгоградский государственный технический университет
shagarang@mail.ru

Аннотация. В работе приводится описание конструкции и пример расчёта молотковой дробилки, работающей в качестве микроизмельчителя в производстве технического углерода в оптимальном режиме.

Ключевые слова: технический углерод, молотковая дробилка, измельчение, оптимизация.

Vasilyev Pyotr Sergeevich

Ph. D., Associate Professor of
the Department «Processes and Apparatus
of Chemical and Food Production»,
Volgograd State Technical University
nestorvv@mail.ru

Titunina Ekaterina Olegovna

Student of the department «Processes
and Apparatus of Chemical
and Food Production»,
Volgograd State Technical University
katyusha.titunina@mail.ru

Shagarova Anzhelika Anatolevna

Ph. D., Associate Professor of
the Department «Processes and Apparatus
of Chemical and Food Production»,
Volgograd State Technical University
shagarang@mail.ru

Annotation. The paper gives a description of the design and an example of calculating a hammer mill operating as a micro-chopper in the production of carbon black in an optimal mode.

Keywords: carbon black, hammer mill, shredding, optimization.

Технический углерод – высокодисперсный аморфный продукт, состоящий из углерода и получаемый в контролируемых условиях.

Технический углерод широко используется в качестве усиливающего наполнителя при производстве резин из-за своей способности значительно повышать их физико-химические свойства, в качестве чёрного пигмента применяется в производстве типографских красок и других лакокрасочных материалов, а также в качестве наполнителя пластмасс и оболочек кабелей для придания им специальных свойств [1, 2].

Существует несколько способов получения технического углерода: печной, канальный, ламповый и термический. При этом более 96 % производимого технического углерода получают печным способом путём пиролиза жидкого углеводородного сырья. Полученный в результате аэрозоль проходит механическую очистку, при которой технический углерод отделяется от пиролизных газов и по трубопроводу газотранспорта направляется в отделение гранулирования.

Перед поступлением в отделение гранулирования технический углерод проходит через микроизмельчитель, представляющий собой быстроходную молотковую дробилку, которая производит измельчение посторонних включений (частиц кокса, футеровки, окалины и пр.) в потоке углеродогозовой смеси. Это необходимо для того, чтобы полностью исключить возможность попадания посторонних частиц размером более 0,5 мм в готовую продукцию, т.к. в противном случае это обстоятельство приведёт к нарушению целостности резинотехнических изделий [2].

На рисунке 1 в качестве примера приведена принципиальная схема молотковой дробилки малой модели С-218, которая работает следующим образом. Поступающий через воронку материал падает под удар быстро вращающихся молотков, разрушается от столкновения с ними и отбрасывается к броневой плите. Ударившись об эту плиту, частицы отлетают от неё и попадают опять под молотки. Разрушенные и отброшенные второй раз к броневой плите частицы снова возвращаются под молотки. Такое движение и разрушение материала происходит до тех пор, пока частицы не попадут на подовую решётку и не выйдут из зоны измельчения через её отверстия. Куски материала, не



успевшие разрушиться до нужного размера за первый проход через зону измельчения, движущимися молотками могут разрушаться и на подовой решётке, или их поднимают и возвращают снова в зону интенсивного измельчения. Размер частиц измельчённого материала определяется размером отверстий в подовой решётке, которую в зависимости от требований можно заменять [3].

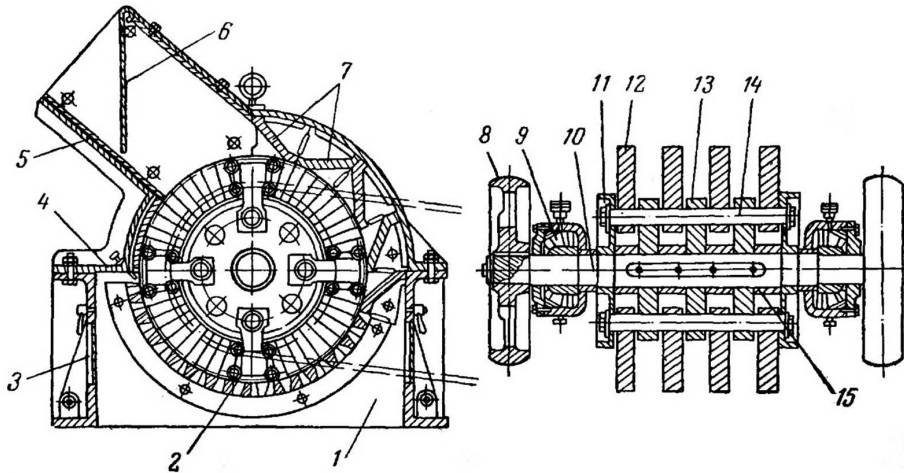


Рисунок 1 – Молотковая дробилка малой модели С-218 [3]:

- 1 – нижняя часть корпуса; 2 – подовая решётка; 3 – люк; 4 – верхняя часть корпуса; 5 – приёмная воронка;
- 6 – шторка; 7 – броневые плиты; 8 – шкив-маховик; 9 – подшипник; 10 – вал; 11 – концевая шайба;
- 12 – молотки; 13 – диски; 14 – стяжки; 15 – фиксирующие кольца

Опыт практической эксплуатации дробилок свидетельствует о том, что пропускная способность подовой решётки значительно зависит от угла её установки, максимальное значение которого достигает 180 градусов [4].

Для определения оптимального значения угла установки подовой решётки микроизмельчителя, обеспечивающего её максимальную пропускную способность по техническому углероду, с учётом рекомендаций [4, 5] была разработана инженерная методика расчёта, основные результаты модельного расчёта по которой представлены в таблице. Ниже приведены основные расчётные зависимости (в скобках указаны размерности величин, отличные от системы СИ).

Теоретический минимальный начальный размер частиц измельчаемого материала:

$$d_{\text{МН}} = (1,65 - 0,011 \cdot d_{\text{РЕШ}}) \cdot d_{\text{РЕШ}} \quad (1)$$

Рабочая скорость вращения ротора :

$$v_{\text{P}} = 175 \cdot K_{\text{V}} \cdot \left(\frac{[\sigma_{\text{M}}]}{\rho_{\text{M}} \cdot d_{\text{МН}}} \right)^{2/3} \quad (2)$$

где $K_{\text{V}} = 1,00 \div 1,05$ – коэффициент запаса скорости вращения ротора.

Диаметр и длина ротора:

$$D_{\text{P}} = L_{\text{P}} = \frac{60 \cdot v_{\text{P}}}{\pi \cdot n_{\text{P}}} \quad (3)$$

Номинальная мощность привода (в кВт):

$$N = 80 \cdot D_{\text{P}} \cdot L_{\text{P}} \quad (4)$$

Минимальная мощность привода (в кВт):

$$N_{\text{min}} = 30 \cdot D_{\text{P}} \cdot L_{\text{P}} \quad (5)$$

Максимальная мощность привода (в кВт):

$$N_{\text{max}} = 100 \cdot D_{\text{P}} \cdot L_{\text{P}} \quad (6)$$

Удельные энергозатраты на измельчение материала:

$$e = \frac{N}{Q} \quad (7)$$



Остаток на решётке (в %):

$$\rho_{РЕШ} = \frac{43700 \cdot [\sigma_M]}{d_{РЕШ} \cdot \rho_M \cdot v_P^{1,5}} \tag{8}$$

Доля подрешёточного продукта (в %):

$$\rho = \frac{(0,028 \cdot D_P \cdot \beta_{РЕШ}) \left(\frac{\rho_{РЕШ}^2}{12800} + 0,175 \right)}{0,038 \cdot \left(\frac{\rho_{РЕШ}^2}{12800} + 0,175 \right)^{0,6}} \tag{9}$$

Теоретический минимальный конечный размер частиц измельчаемого материала:

$$d_{МК} = \frac{43700 \cdot [\sigma_M]}{\rho \cdot \rho_M \cdot v_P^{1,5}} \tag{10}$$

Теоретическая минимальная степень измельчения:

$$i = \frac{d_{МН}}{d_{МК}} \tag{11}$$

Основные результаты расчёта в графическом виде представлены на рисунках 2, 3 и 4.

На рисунке 2 приведена графическая зависимость доли подрешёточного продукта от теоретического минимального конечного размера частиц измельчаемого материала для значения угла установки подовой решётки $\beta_{РЕШ} = 120$ градусов, являющаяся аналогом интегральной кривой фракционного состава частиц измельчённого материала. Как видно из графика, с уменьшением размера частиц вероятность их прохождения через подовую решётку увеличивается.

Таблица – Основные результаты модельного расчёта

Исходные данные			
1. Производительность по измельчаемому материалу	кг/час	G_M	4600
2. Частота вращения ротора	об/мин	n_P	3000
3. Диаметр отверстий подовой решётки	мм	$d_{РЕШ}$	0,80
4. Угол установки подовой решётки	град.	$\beta_{РЕШ}$	120
5. Предел прочности измельчаемого материала при растяжении	МПа	$[\sigma_M]$	5
6. Плотность измельчаемого материала	кг/м ³	ρ_M	2000
Расчётные параметры			
7. Теоретический минимальный начальный размер частиц измельчаемого материала	мм	$d_{МН}$	1,31
8. Рабочая скорость вращения ротора	м/с	v_P	276
9. Диаметр ротора	мм	D_P	1755
10. Длина ротора	мм	L_P	1755
11. Номинальная мощность привода	кВт	N	247
12. Минимальная мощность привода	кВт	N_{min}	92
13. Максимальная мощность привода	кВт	N_{max}	308
14. Удельные энергозатраты на измельчение материала	кВт·час/т	e	54
15. Остаток на решётке	%	$\rho_{РЕШ}$	30
16. Доля подрешёточного продукта	%	ρ	95
17. Теоретический минимальный конечный размер частиц измельчаемого материала	мм	$d_{МК}$	0,25
18. Теоретическая минимальная степень измельчения	–	i	5,2

На рисунке 3 приведены графические зависимости доли подрешёточного продукта и теоретического минимального конечного размера частиц измельчаемого материала от угла установки подовой решётки.

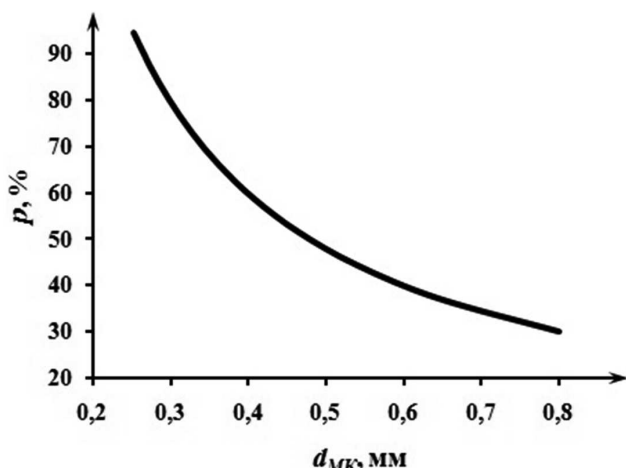


Рисунок 2 – Зависимость $p = f(d_{MK})$ для $\beta_{РЕШ} = 120$ град.

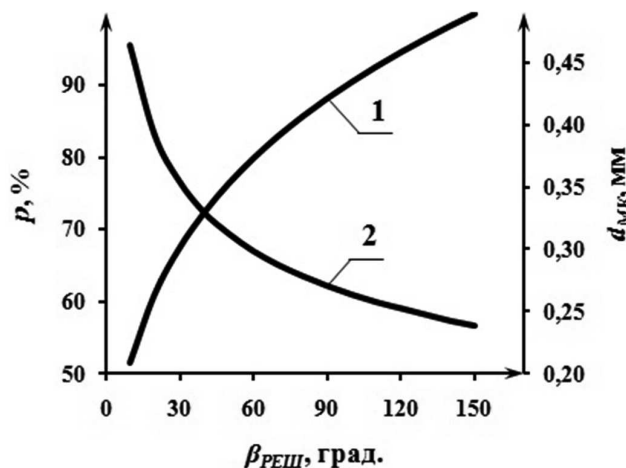


Рисунок 3 – Зависимости доли подрешёточного продукта и теоретического минимального конечного размера частиц измельчаемого материала от угла установки подовой решётки: 1 – $p = f(\beta_{РЕШ})$; 2 – $d_{MK} = f(\beta_{РЕШ})$

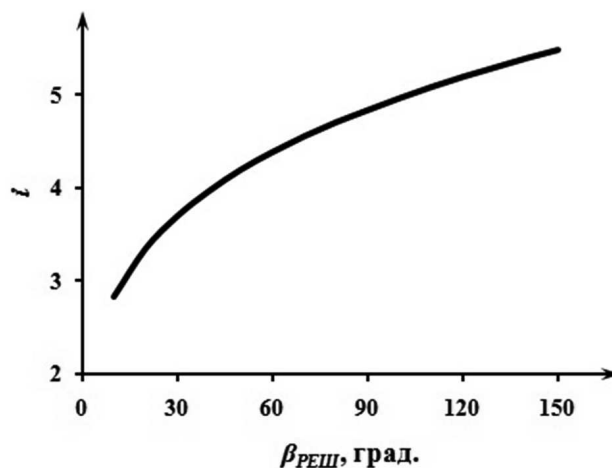


Рисунок 4 – Зависимость теоретической минимальной степени измельчения от угла установки подовой решётки $i = f(\beta_{РЕШ})$

Анализируя полученные графики рисунка 3, можно сказать, что при номинальном значении угла установки подовой решётки в 120 градусов, диапазон его изменения ограничен:

- 1) слева значением $\beta_{РЕШ} = 100$ градусов, т.к. при этом доля подрешёточного продукта снижается до $p = 90\%$, что является нежелательным для поточного производства технического углерода;
- 2) справа значением $\beta_{РЕШ} = 150$ градусов, т.к. при этом доля подрешёточного продукта повышается практически до $p \approx 100\%$ и дальнейшее увеличение $\beta_{РЕШ}$ становится нецелесообразным.

В последнем случае теоретическая минимальная степень измельчения достигает своего максимума $i = 5,5$ (рис. 4).

Таким образом, с помощью разработанной инженерной методики расчёта молотковой дробилки, работающей в качестве микроизмельчителя в производстве технического углерода, можно определить оптимальное значение угла установки его подовой решётки в зависимости от технологических условий.

Литература:

1. Шопин В.М. Создание и применение процессов и аппаратов улавливания целевых продуктов в производстве технического углерода : Дис. ... докт. техн. наук: 05.17.08. – Омск, 2014. – 422 с.
2. Ивановский В.И. Технический углерод. Процессы и аппараты : учеб. пособие. – Омск : ОАО «Техуглерод», 2004. – 228 с.
3. Сиденко П.М. Измельчение в химической промышленности. – 2-е изд., перераб. – М. : Химия, 1977. – 368 с.
4. Клушанцев Б.В. Дробилки. Конструкция, ремонт, особенности эксплуатации / Б.В. Клушанцев, А.И. Косарев, Ю.А. Муйземнек. – М. : Машиностроение, 1990. – 320 с.
5. Андреев С.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых / С.Е. Андреев, В.А. Перов, В.В. Зверевич. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1980. – 415 с.

**References:**

1. Shopin V.M. Creation and application of processes and devices for capturing target products in the production of carbon black : Dis. PhD. – Omsk, 2014. – 422 p.
2. Ivanovsky V.I. Carbon black. Processes and devices : studies. manual. – Omsk : PR «Carbon black», 2004. – 228 p.
3. Sidenko P.M. Chemical industry grinding. – 2nd ed., revised. – M. : Chemistry, 1977. – 368 p.
4. Klushantsev B.V. Crushers. Construction, repair, operation features / B.V. Klushantsev, A.I. Kosarev, Y.A. Muizemnek. – M. : Mechanical Engineering, 1990. – 320 p.
5. Andreev S.E. Mineral crushing, grinding and screening / S.E. Andreev, V.A. Perov, V.V. Zverevich. – 3rd ed., revised. and add. – M. : Nedra, 1980. – 415 p.