

чения единицы прочности (1 МПа) бетона на дробленном фракционированном песке требуется на 19 % меньше цемента по сравнению с бетоном на речном песке и на 17 % меньше – по сравнению с бетоном на дробленном нефракционированном песке.

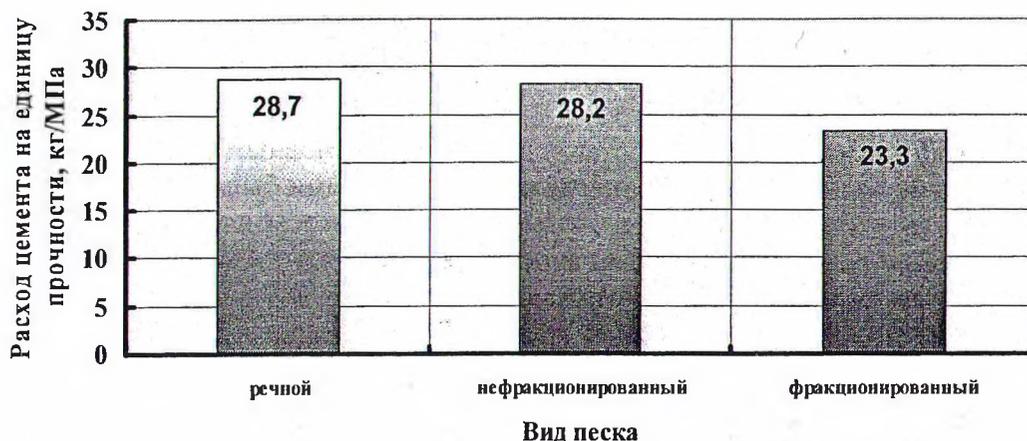


Рисунок 3 – Расход цемента на единицу прочности мелкозернистых бетонов

Проведенная технико-экономическая оценка показала, что применение фракционированного песка из отсевов дробления взамен речного в мелкозернистых бетонах позволяет снизить себестоимость  $1\text{ м}^3$  бетона на 89,52 р., а взамен нефракционированного – на 50,2 р., при улучшении физико-механических показателей.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОМОЛА В ПЛАНЕТАРНЫХ МЕЛЬНИЦАХ

Семененко Д.В., Вайтехович П.Е.

БГТУ, г. Минск

Одной из актуальных проблем, касающихся планетарных мельниц, является отсутствие четких рекомендаций по их проектированию и эксплуатации. Важными параметрами для данного типа оборудования являются угловая скорость вращения барабанов, время помола, твердость материала, соотношение массы мелющих тел и массы измельчаемого материала, степень загрузки, диаметр мелющих тел, отношение радиуса приводного колеса к радиусу обкатки, вид обкатки.

Но, к сожалению, сведения о их влиянии на эффективность помола либо отсутствуют, либо недостаточно освещены. Поэтому нами было принято решение о исследовании вышеперечисленных параметров и выдаче рекомендаций по проектированию и эксплуатации данного типа помольного оборудования.

Для выполнения поставленной задачи была изготовлена планетарная мельница с внутренним диаметром барабанов 100 мм и длина 200 мм. Причем, благодаря конической форме неподвижной кольцевой поверхности существует возможность изменять отношение радиуса приводного колеса к радиусу неподвижной кольцевой поверхности и, как следствие, получать разное значение геометрического критерия  $k$ , который определяется по формуле [1]

$$k = r_B/R, \quad (1)$$

где  $r_B$  – радиус барабана, м;

$R$  – радиус неподвижной кольцевой поверхности, м.

Экспериментальные исследования проводились при водопадном режиме работы мельницы с внешней обкаткой, для которого максимальная угловая скорость вращения барабанов определяется по формуле [1]

$$\omega = \sqrt{\frac{g \cdot (1+k)}{k \cdot R \cdot [b \cdot (1+k) - k]}} \quad (2)$$

где  $b$  – геометрический критерий,  $b = r_B/r$ ,

$r$  – радиус приводного колеса, м.

Продолжительность помола составляла 10 мин, а основным материалом был гипсовый камень. За эффективность процесса измельчения нами было принято процентное содержание материала  $E$ , прошедшего через сито с размером ячейки 90 мкм, которое определялось с помощью ситового анализа.

$$E = 100 - R_{90}, \quad (3)$$

где  $R_{90}$  – остаток на сите с размером ячейки 90 мкм, %.

Первым этапом нашей работы было определение влияния степени загрузки барабана мелющими телами ( $\alpha = V_{Ш}/V_B$ , %) на эффективность процесса измельчения. Полученные результаты показали, что наилучшая величина данного параметра находится в пределах 38–50 %. Поэтому все остальные исследования проводились при степени загрузки 42 % (2,7 кг шаров  $\varnothing 16,5$  мм).

На эффективность процесса помола в планетарных мельницах оказывает влияние и отношение объема шаров к объему измельчаемого материала ( $c = V_{Ш}/V_M$ ). Было установлено, что максимальная эффективность получается при  $c = 3$ .

Кроме того, было исследовано влияние размера мелющих тел на эффективность измельчения (рис. 1). Из графика видно, что существует некоторое оптимальное соотношение диаметра барабана и диаметра шаров. В нашем случае наилучшая величина данного параметра равняется шести.

Зависимость эффективности помола от размера мелющих тел

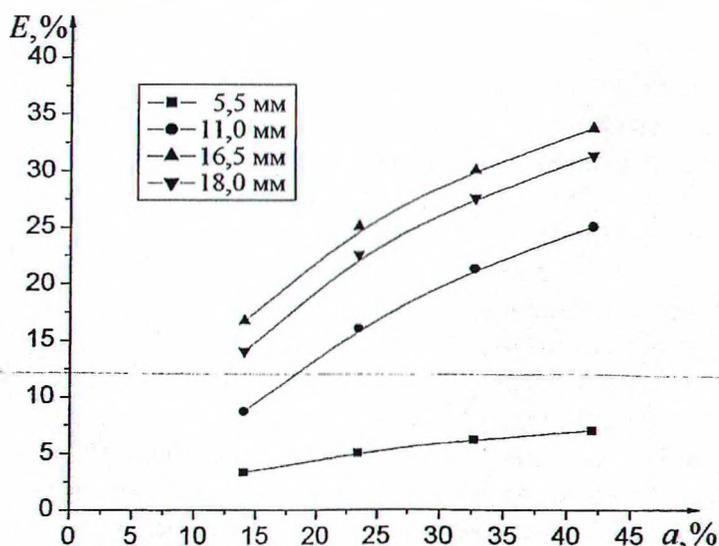


Рис. 1

К параметрам, оказывающим влияние на эффективность измельчения, также относятся время помола  $t$  и твердость материала. Для их исследования в качестве измельчаемого материала был выбран гипсовый камень, клинкер и щебень, твердость которых

по таблице Мооса составляет 2, 3 и 7 единиц соответственно [2]. Рис. 2 показывает, что эффективность возрастает при увеличении продолжительности помола и снижении твердости материала.

Зависимость эффективности от времени помола  $t$

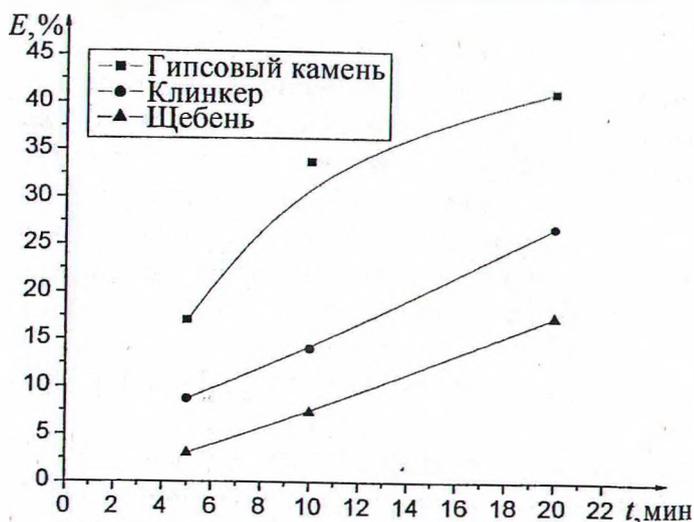


Рис. 2

Еще одним параметром, существенно влияющим на процесс измельчения, является геометрический критерий  $k$  (когда обкатка осуществляется непосредственно барабанами по неподвижной кольцевой поверхности) или отношение радиуса приводного колеса к радиусу неподвижной кольцевой поверхности (если обкатка осуществляется за счет фрикционной, зубчатой или иной передачи). Проведенные экспериментальные исследования, при которых угловая скорость вращения барабанов бралась  $(0,6 \div 3,0)\omega$ , показали, что оптимальная величина данного параметра находится в диапазоне, нижнее значение которого определяется по формуле (2), а верхнее – на 20 % больше предыдущего. Кроме того, было установлено, что с ростом геометрического критерия  $k$  происходит увеличение эффективности помола.

На основании проведенных экспериментальных исследований можно выдать рекомендации по проектированию и эффективной эксплуатации планетарных мельниц. В частности, диаметр мелющих тел должен быть примерно в шесть раз меньше диаметра барабана, а наилучшая степень загрузки последнего –  $38 \div 50$  %. Кроме того, при работе мельницы в водопадном режиме необходимо чтобы барабаны вращались с угловой скоростью, соответствующей началу центрифугального режима и не следует превышать ее более, чем на 20 %. Также важно знать, что оптимальная величина отношения объема шаров к объему материала лежит в интервале от 2 до 3. В свою очередь, для получения максимальной эффективности помола следует проектировать планетарные мельницы с величиной геометрического критерия  $k \geq 0,5$  для внешней обкатки и  $k \geq 0,25$  для внутренней обкатки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вайтехович П.Е., Семененко Д.В. Влияние геометрических параметров привода на динамику планетарных мельниц с внешней обкаткой // Химическая промышленность. 2005. № 1. С. 36–39.

2. Сиденко П.М. Измельчение в химической промышленности. – М.: Химия. – 1980. – 368 с.