

Это свидетельствует о возможности реализации, технологии получения легированного чугуна и титанового шлака на кольцевой печи с вращающимся подом.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Подводя итог всему сказанному, следует отметить, что в данной технологии предлагается использовать нагрев, восстановление и плавление рудугольных окатышей (брикетов), из титаномагнетитового концентрата в одном агрегате, в отличие от предыдущих работ.

Дальнейшие исследования направить на изучение фазовых превращений в титаномагнетитовых концентратах при твердофазном восстановлении в кольцевой печи с вращающимся подом.

#### Список литературы

1. <http://www.ukrbiznes.com> Титановая отрасль Украины. Минерально-сырьевая база.
2. Пирометаллургическая переработка комплексных руд. Лещтгев Л.И., Ватолин Н.А., Шаврин С.В., Шумаков Н.С., - М.: Metallurgy, 1997 - 432с.
3. Автореферат диссертации "Изучение закономерностей формирования и разделения металлической и шлаковой фаз в процессе карботермического восстановления титаномагнетитового концентрата" Майорова Л.А.
4. Губин Г.В., Пивень В.О. Современные промышленные способы бескоксовой металлургии железа/ - Кривой Рог; 2010 – 336 с.

Рукопись поступила в редакцию 17.02.14

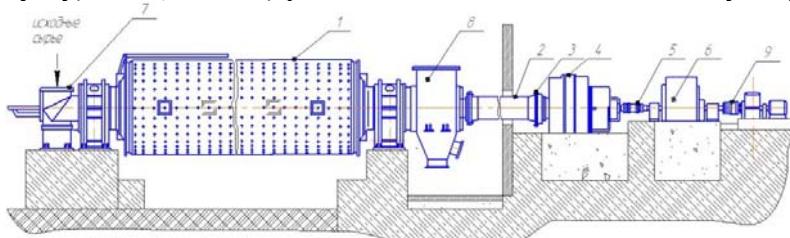
УДК 621.82:621.926.5

Ю.А. МАЛИНОВСКИЙ, С.И. МАЛИНОВСКАЯ, кандидаты техн. наук, доц.,  
А.Ю. МАЛИНОВСКАЯ, ст. преподаватель, Криворожский национальный университет  
О.И. БАРАНОВА, преподаватель, Криворожский коксохимический техникум

### К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ДВУХКАМЕРНЫХ МЕЛЬНИЦ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РУДНОГО СЫРЬЯ

Выполнено обоснование эффективности использования двухкамерных шаровых мельниц для переработки железорудного сырья. Даны рекомендации по усовершенствованию конструкции барабана и приводных механизмов.

На ряде предприятий для измельчения сырьевых материалов получили распространение двухкамерные мельницы МЦ 3,2×15 (производительностью 100 т/час по готовому сухому продукту) и МЦ 4×13,5 (производительностью 145 т/час по сухому продукту) (рис. 1).



**Рис. 1.** Общий вид мельницы: 1 - барабан; 2 - провал; 3 - зубчатая муфта; 4 - планетарный редуктор; 5 - зубчатые муфты; 6 - приводной электродвигатель; 7 - устройство загрузки сырья; 8 - устройство выгрузки продукта; 9 - вспомогательный привод

В частности, такие мельницы используются для измельчения цементного клинкера и являются перспективными для их использования на горнорудных предприятиях при измельчении железорудного сырья. Преимущества этих мельниц очевидны потому, что во-первых две стадии измельчения можно осуществить в одном барабане, во-вторых осуществление процесса измельчения в «сухой» среде позволяет, в конечном счете, либо полностью исключить хвостовое хозяйство с системой технического водоснабжения и уменьшить нагрузку на отделение сушки концентрата либо максимально уменьшить размеры системы оборотного водоснабжения, при использовании полной или частичной «сухой» магнитной сепарации.

При таком подходе имеется возможность экономии на общеэксплуатационных расходах по обслуживанию мельниц, а также экономии по содержанию хвостового хозяйства горнообогатительных предприятий. Затратная часть, связанная с мокрой схемой обогащения значительно сократится и полученные отдельные пески в «сухом» виде могут быть легко заскладированы.

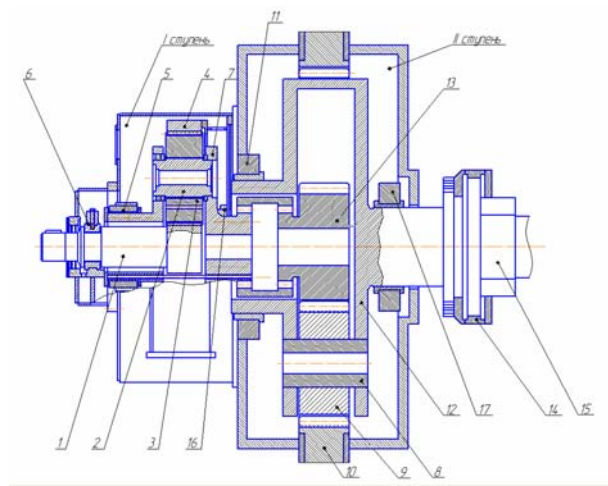
В случае использования таких мельниц для измельчения рудного сырья из-за разницы в насыпных массах руды и цементного клинкера нагрузка на корпус мельницы и привод существ-

венно возрастут. Поэтому, корпуса мельниц должны быть усилены за счет увеличения толщины обечаек до толщины обечаек рудных мельниц МШ 4,5×6 и МШ 4×7,5, а также за счет установки на барабан продольных ребер, например, в количестве 12 штук. Конфигурации футеровок двухкамерных мельниц должны по возможности повторить конфигурации футеровок рудных мельниц с Ø 4 и Ø 4,5 м.

Следует отметить, что футеровки должны быть уложены в барабане на упругие резиновые элементы (отходы конвейерной ленты) с правильным выбором параметров этих прокладок, которые уменьшат динамические нагрузки на футеровки [1]. Механизм разрушения футеровок нам представляется следующим образом. Перемещающиеся в барабане шары, в основном при «водопадном» режиме их движения, после многочисленных столкновений их с кусками руды, потеряв значительную часть своей кинематической энергии, соударяются с жестко закрепленной на барабане футеровкой, при этом коэффициент динамического взаимодействия шаров и футеровки обычно достигает значения  $k_d \geq 6$ . При многочисленном воздействии шаров на футеровки происходит наклеп взаимодействующих в результате измельчения поверхностей.

В результате возрастания твердости шаров и футеровок (до значения  $HRC \geq 45$ ) происходит растрескивание их поверхностных слоев. При этом шаровая загрузка с измельчаемой рудой постоянно проскальзывает относительно барабана, а также постоянно происходит скольжение шаров по внутренним круговым и линейным траекториям в процессе перемещения руды в барабане. Эти процессы также протекают при значительных динамических нагрузках, что приводит к быстрому износу шаров и футеровок барабана. Такие негативные явления также могут быть несколько ослаблены за счет упругого закрепления футеровки в барабане, что позволяет уменьшить интенсивность динамического взаимодействия шаров и футеровок. Такой подход позволяет уменьшить ударную составляющую нагрузок при взаимодействии шаров и барабана, не влияя при этом на сам процесс силового взаимодействия шаров и руды.

Рассмотрим взаимодействие приводных механизмов и барабана. Вращающий момент от приводного двигателя через редуктор и промвал передается на барабан. В качестве приводного механизма для двухкамерных мельниц целесообразно использовать соосный планетарный редуктор типа CPU-22, применяемый на серийных мельницах МЦ 4,0×13,5.



**Рис. 2.** Планетарный редуктор существующей конструкции: 1 - вал-шестерня I ступени; 2,8 - ось сателлита; 3,9 - сателлит; 4,10 - зубчатый венец; 5,11,16,17 - подшипники скольжения водила; 6 - подшипник скольжения вала-шестерни I ступени; 7,12 - водило; 13 - солнечная шестерня II ступени; 14 - зубчатая муфта; 15 - промвал

Использование редукторов этого типа позволяет выполнить «легким» и компактным весь привод.

Рассмотрим некоторые конструктивные особенности редуктора CPU -22, которые ограничивают процесс интенсификации помола в двухкамерных мельницах при измельчении в них по «сухому» способу рудных материалов. Как следует из работы [2] I ступень планетарного соосного редуктора рис. 2 спроектирована так, что первичная вал-шестерня (приводная) - 1 является источником высокочастотных вибраций даже при «статическом» приложении нагрузки от барабана, заполненного сыпучей средой (измельчаемый материал и помольные шары), к водилу II ступени редуктора - 12 через промвал.

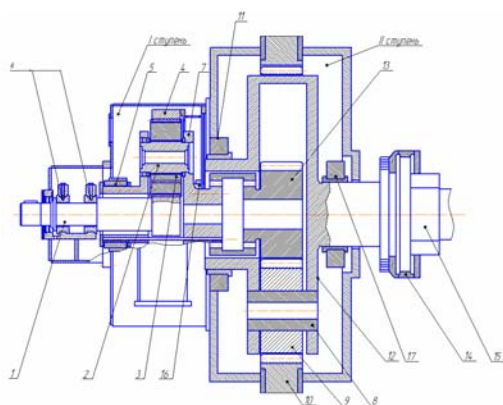
Фактически характер перемещения измельчаемой массы и шаров в барабане приводит к значительным динамическим нагрузкам в промвале и II и I ступенях редуктора, причем колебания этих нагрузок имеют низкочастотный характер, происходящих с основной частотой колебаний системы барабан-промвал-редуктор-электродвигатель [3]. Поэтому, при использовании двухкамерных мельниц для измельчения железорудного сырья, как уже отмечалось, динамические нагрузки передающиеся на барабан от взаимодействующих шаров и руды, необходимо уменьшить за счет упругой установки футеровок в барабане, а динамические нагрузки, вы-

званные проскальзыванием руды и шаров в барабане (относительно футеровки и смежных шаров) необходимо уменьшить за счет установки в элементах привода вместо «жестких» зубчатых муфт - упругие муфты (желательно лучевые) с оптимальной настройкой [4].

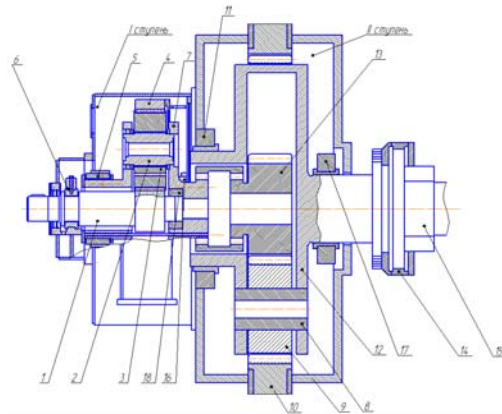
Для того, чтобы выбрать правильное конструктивное решение планетарного редуктора рассмотрим конструктивные схемы серийного редуктора CPU-22 ( $U=30,6$ ) и двух модернизированных редукторов. Обратимся, предварительно, к редуктору CPU-22, см. рис. 2, серийно выпускаемому заводом ОАО «Волгоцеммаш» для комплектации мельниц МЦ 4,0×13,5, и в частности к валу-шестерне I ступени редуктора - 1. При этом относительно длинная цилиндрическая часть детали имеет фактически только одну опору (короткий подшипник скольжения - 6). В качестве второй опоры вала-шестерни принята его зубчатая часть, которая взаимодействует с тремя сателлитами I ступени, имеющими незначительную конусность (бочкообразные зубья), обращенную в сторону приводного двигателя. Указанная конструктивная особенность зацепления при передаче крутящего момента приводит к выборке радиальных зазоров в зацеплении, и как следствие вызывает прогрессирующие радиальные биения зубчатой части вала-шестерни - 1 и дальнейшее ее разрушение, а также подшипника скольжения - 6, и сателлитов - 3 и осей сателлитов - 2.

Обратимся к планетарному редуктору I-й модификации (рис. 3), который отличается от серийного редуктора (см. рис. 2) тем, что вал-шестерня имеет в переднем кожухе дополнительную опору скольжения - 6, которая взаимодействует с удлиненной частью вала-шестерни - 1 (вал-шестерня удлинняется примерно на 500-600 мм).

Редуктор, выполненный по II-й модификации, рис. 4, отличается от серийного редуктора тем, что вал-шестерня I ступени имеет дополнительную опору скольжения в задней части стенки I ступени, в виде кольцевого подшипника скольжения - 18, с внутренней рабочей поверхностью.



**Рис. 3.** Планетарный редуктор предлагаемой конструкции (1 вариант): 1 - вал-шестерня I ступени; 2,8 - ось сателлита; 3,9 - сателлит; 4,10 - зубчатый венец; 5,11,16,17 - подшипники скольжения водила; 6 - подшипники скольжения вала-шестерни I ступени; 7,12 - водило; 13 - солнечная шестерня II ступени; 14 - зубчатая муфта; 15 - промвал



**Рис. 4.** Планетарный редуктор предлагаемой конструкции (2 вариант): 1 - вал-шестерня I ступени; 2,8 - ось сателлита; 3,9 - сателлит; 4,10 - зубчатый венец; 5,11,16,17 - подшипники скольжения водила; 6 - подшипники скольжения вала-шестерни I ступени; 7,12 - водило; 13 - солнечная шестерня II ступени; 14 - зубчатая муфта; 15 - промвал; 18 - подшипник скольжения (втулка вала-шестерни)

При этом первичная вал-шестерня со стороны зубьев имеет цилиндрический выступ (шип), входящий в дополнительный кольцевой подшипник - 18.

Из рассмотренных конструктивных решений планетарного редуктора необходимо выбрать наиболее компактный, надежный и «жесткий» редуктор. Для достижения поставленной цели необходимо сравнить углы поворота (перекоса) от силы (единичной), приложенной в плоскости параллельной плоскости зацепления для различных модификаций редуктора  $\gamma_i$ .

Из рассмотренных конструктивных решений планетарного редуктора необходимо выбрать наиболее компактный, надежный и «жесткий» редуктор. Для достижения поставленной цели необходимо сравнить углы поворота (перекоса) от силы (единичной), приложенной в плоскости параллельной плоскости зацепления для различных модификаций редуктора  $\gamma_i$ .

Для существующего редуктора, см. рис. 2, угол поворота вала-шестерни от единичной силы определится, согласно [5]

$$\bar{\gamma}_{11} = \frac{l_i^2}{3EI_2}(1+1,5\bar{a})\bar{a}, \quad (1)$$

где  $\bar{a} = a/l \geq 1$ ;  $a$  - расстояние от середины зубчатой части вала-шестерни до ближней кромки подшипника скольжения;  $l$  - ширина подшипника скольжения;  $E$  - модуль упругости материала вала-шестерни;  $I_2$  - момент инерции сечения вала (усредненный).

Анализируя формулу (1) сделаем вывод, что угол поворота вала-шестерни  $\bar{\gamma}$  (или  $\gamma$ ) пропорционален квадрату длины консольной части вала-шестерни (при прочих равных условиях).

Для серийного редуктора СРУ-22 угол поворота вала-шестерни  $\bar{\gamma}_{11}$  является чисто деформационным. Однако, помимо деформационного угла поворота вала-шестерни, имеет место геометрический угол поворота, обусловленный тем, что вал-шестерня фактически имеет одну опору скольжения, расположенную в малом переднем кожухе I ступени, в качестве второй опоры условно можно считать три сателлита имеющие скос зубьев в сторону малого переднего кожуха редуктора в силу имеющегося зазора в зацеплении -  $\Delta$ . В ряде положений вала-шестерни этот «абсолютный» зазор выбирается и имеет место так называемый угловой перекося вала-шестерни

$$\delta = \Delta/a + l, \quad (2)$$

где  $\Delta$  - абсолютный зазор в зацеплении I ступени.

Поэтому к углу поворота вала-шестерни  $\bar{\gamma}_{11}$ , обусловленному его деформацией под действием усилия в зацеплении ( $P_3$ ) необходимо добавить угловой перенос  $\delta$ .

Таким образом, угловой перенос в зацеплении вала-шестерни I ступени и сателлитов для серийного редуктора будет равен  $\gamma_{11} + \delta$  и зависит от квадрата длины консольной части вала-шестерни, а также от абсолютного зазора в зацеплении.

Для предлагаемого конструктивного исполнения редуктора по I варианту угол поворота (перекося) вала-шестерни от единичной силы, обусловлен только деформационной составляющей [5] и будет равен

$$\bar{\gamma}_{12} = \frac{l_1^2}{3EI}(1+1,5\bar{a}')\bar{a}', \quad (3)$$

где  $\bar{a}' = a'/l'$ ;  $a'$  - расстояние от внутренней опоры вала-шестерни до середины зубчатой части вала-шестерни; длина консольной части  $l'$  - расстояние между опорами вала-шестерни (см. рис. 3)

$$\bar{a}' = a'/l' \approx 1.$$

Таким образом, угол поворота вала-шестерни изменяется пропорционально квадрату длины консольной части вала-шестерни, при этом  $\bar{a} \gg \bar{a}'$ , тогда  $\bar{\gamma}_{11} \gg \bar{\gamma}_{12}$ .

Также для I модификации редуктора отсутствует геометрическая составляющая угла поворота вала-шестерни, поэтому

$$\gamma_{12} \ll \gamma_{11} + \delta. \quad (4)$$

В результате проведенного анализа установлено, что для I модификации редуктора характерна меньшая угловая деформация при работе приводного вала-шестерни, поэтому надежность и долговечность I ступени модифицированного редуктора будет выше, чем для серийного редуктора.

Для предлагаемого конструктивного решения редуктора по II варианту (рис. 4) при расположении вала-шестерни в пролете между двумя опорами скольжения угол поворота вала-шестерни от единичной силы определяется следующим образом [5]

$$\bar{\gamma}_{13} = \frac{l_1^2}{3EI_2}(1-\bar{b}')\bar{b}'(1-2\bar{b}'), \quad (5)$$

где  $\bar{b}' = (b'/l_1) < 1$ ;  $b' \approx a$ ;  $1-\bar{b}' \ll 1$ ;  $1-2\bar{b}' \ll 1$ .

В приведенных выражениях  $l_1'$  - расстояние между опорами вала-шестерни, расположенными по разные стороны от зубчатой части;  $b'$  - расстояние от левой опоры вала-шестерни до середины зубчатой части.

Таким образом, угол поворота вала-шестерни для II модификации редуктора будет меньше чем величина пропорциональная кубу  $b'$ , то есть будет иметь место неравенство

$$\bar{\gamma}_{13} \ll \bar{\gamma}_{12}. \quad (6)$$

С учетом того что углы поворота сателлитов I ступени для всех модификаций редуктора будут одинаковы.

Из анализа углов поворота вала-шестерни для всех трех модификаций редуктора получаем неравенство

$$\bar{\gamma}_{13} \ll \bar{\gamma}_{12} \ll \bar{\gamma}_{11}. \quad (7)$$

На основании проведенного анализа трех модификаций редуктора следует, что редуктор II модификации будет иметь габариты серийного редуктора, обладать большей «жесткостью» и надежностью и поэтому промышленное использование таких редукторов является более предпочтительным при комплектации двухкамерных мельниц, как для измельчения цементного клинкера, так и железорудного сырья.

#### Список литературы

1. К. G. Eriksson, G. Marielund, A. Л. Гребенщиков, В. Ю. Фищев. Развитие системы мельничных футеровок. Горная промышленность. N1, 2003, с. 24-30, Россия, Москва изд-во МГТУ.
2. Малиновский Ю. А., Малиновская С. И., Малиновская Е. Ю. Модернизация приводных механизмов трубных мельниц при их использовании для измельчения рудных материалов. Гірничий вісник 95(1), Кривий Ріг 2012, с. 158-161.
3. Малиновский Ю. А., Малиновская С. И., Малиновская А. Ю., Бондарец А. А. Некоторые особенности выбора параметров и расчета устройств для снижения уровня динамических нагрузок в приводах измельчительных машин. Разработка рудных месторождений. Выпуск 93, Кривой Рог, 2010, с. 116-119.
4. Малиновский Ю. А., Малиновская С. И., Бондарец А. А. Особенности выбора параметров и расчета упругих муфт в приводах крупных мельниц для измельчения железного сырья. В сб. научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2009. Т. 1 Технические науки. Одесса 2009, с. 34-39.
5. Биргер И. А., Шорр Б. Ф., Иосилевич Г. Б. Расчет на прочность деталей машин: Справочник 3 изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1979, 702с.

Рукопись поступила в редакцию 17.01.14

УДК 531.53 (076.5)

С.В. ПОВАР, канд. пед. наук, доц., Криворізький національний університет

### ЕНТРОПІЯ, ХАОС І ПОРЯДОК (СУЧАСНЕ РОЗУМІННЯ)

Запропоновано інтегративний підхід до висвітлення понять *ентропія, хаос і порядок* - з точки зору термодинаміки, теорії ймовірностей і матстатистики, МКТ, синергетики. Надано зведену таблицю формул, графіків і схем теплових процесів.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** «Наука - це ясне пізнання істини, просвітлення розуму, ... всюди вірний і нерозлучний супутник» - стверджував М.В. Ломоносов. Концепції природничих наук протягом останніх десятиліть постійно оновлюються (сьогодні це дуже відчутно). Світоглядні горизонти розширюються. Університетська освіта цьому сприяє. У випускника формується здатність до самоосвіти, підвищується рівень логічного і творчого мислення. Сприяття цьому покликане, зокрема, *навчально-методичне забезпечення* - підручники, навчальні посібники, методичні розробки. Але тут, на жаль, є проблема - спостерігається тенденція їх *відставання* (особливо це стосується підручників).

Відшукування шляхів вирішення цієї проблеми входить до обов'язків викладача. Власна педагогічна практика та аналіз підручників і посібників з курсу фізики показують, що найслабшим місцем є введення поняття ентропії: зовсім слабо висвітлені її зв'язки з формулою Больцмана, з теорією ймовірностей; зовсім не показано зв'язків із синергетикою, з порядком і хаосом у їх сучасному розумінні.

З метою інформаційної допомоги студентам у висвітленні даного питання пропонуємо інтегративний підхід.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Як відомо, в кінці ХХ століття закінчено розробку основ *лінійної теорії* нерівноважних процесів, що завершилася створенням *лінійної нерівноважної термодинаміки*. Створюється *лінійна феноменологічна* (пізнання явищ, а не сутностей речей) *теорія* нерівноважних процесів.