

По полученным данным можно сделать вывод, что применяемая математическая модель дает хорошие результаты совпадения с экспериментальными данными, процент расхождения равен 13. Данная

схема моделирования перемещения части рабочего органа может найти практическое применение при расчете стержня круглого сечения, части рабочего органа, при создании рессорно-стержневой мельницы.

Литература

1. Шаройкина, Е.А. Вибрационные рессорно-стержневые мельницы / Е.А. Шаройкина, Л.А. Сиваченко // Инженер механик: респуб. межотрасл. произв.-практ. журнал. — 2009. — № 2 (43). — С. 32–35.
2. Дарков, А.В. Строительная механика: учебн. для строит. спец. вузов / А.В. Дарков, Н.Н. Шапошников. — 8-е изд., переработ. и доп. — М.: Высш. шк., 1986. — 607 с.: ил.
3. Леонтьев, Н.Н. Основы строительной механики стержневых систем: учеб. для вузов / Н.Н. Леонтьев, Д.Н. Соболев, А.А. Амосов. — М.: Ассоциация строительных вузов, 1996. — 541 с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПЛАНЕТАРНОГО ТИПА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

*Канд. техн. наук, доц. Вайтехович П.Е., асс. Семенов Д.В., асс. Сидоров Н.Н.
Белорусский государственный технологический университет*

Интенсификация работы технологических машин возможна за счет усложнения траектории движения рабочих органов и обрабатываемого материала, увеличения скорости их движения и перевода стационарных процессов в нестационарные. Все это может быть реализовано в машинах планетарного типа.

Характерной особенностью таких машин является наличие колеса, которое с помощью водила обкатывается по неподвижной поверхности. В зависимости от способа обкатки (внутренней или внешней) траектория отдельных точек колеса может описывать одну из «замечательных» кривых: гипоциклоиду и эциклоиду (рис. 1).

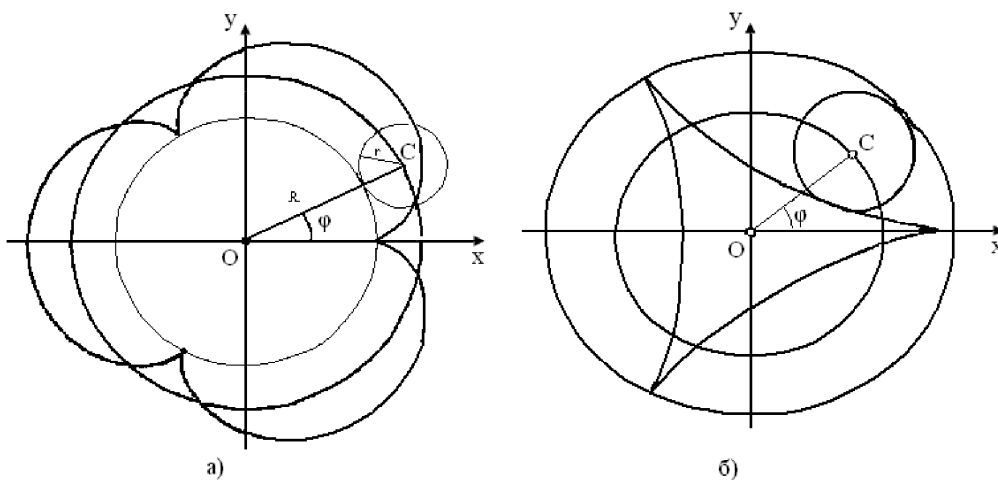


Рис. 1. Эциклоида (а) и гипоциклоида (б)

Изменяя геометрические соотношения основных элементов планетарного механизма, можно получать самую разнообразную форму этих кривых, а соответственно и траекторию. Если в дополнение к этому варьировать скорость вращения, то можно в широком интервале изменять скорости и ускорения отдельных точек вращающегося колеса. Таким образом, планетарные машины и механизмы имеют широчайший диапазон регулирования параметров.

Эта особенность планетарных механизмов в полной мере реализуется при конструировании механических передач. В приводах станков, технологических машин широко используются планетарные редукторы, обеспечивающие высокие передаточные числа [1]. Если говорить о металлорежущих станках, то там применение планетарных передач несколько шире. Например, у фрезерных станков использование специфической формы фрезы в виде треугольника Релло и придание ей планетарного движения позволяет обрабатывать прямоугольные отверстия со скругленными углами [2]. Этими примерами, в основном, применение планетарных передач и ограничивается, хотя с ориентацией на интенсификацию технологических процессов поле их практической реализации намного обширнее.

Машины планетарного типа имеют большие перспективы для использования в механических процессах, таких как измельчение, смешение. Перемешивание суспензий, пастообразных и сыпучих материалов в стройиндустрии, химической и пищевой промышленности планетарными рабочими органами распространено довольно широко [3]. Причем перемешивающие агрегаты преимущественно тихоходные. Их основная задача — поддержание твердых частиц во взвешенном состоянии в емкостях больших объемов, например шламбассейнах.

Измельчители планетарного типа в промышленных технологиях встречаются значительно реже. Они пока находятся в стадии исследований и разработки опытных образцов. Причем существенный вклад в изучение этих агрегатов внесли и авторы данной статьи [4].

Следует отметить, что перед разработчиками планетарных мельниц ставятся совершенно иные задачи по сравнению со смесителями. Основная из них — это повышение эффективности процесса разрушения материала. Очевидно, что скорости движения рабочих органов при этом должны быть как можно больше. Основным элементом планетарной мельницы является размольный

барабан, вовлеченный в планетарное движение, в который загружаются измельчающие тела (шары) и материал, подлежащий измельчению. В конструктивном исполнении планетарные мельницы могут быть вертикальными, горизонтальными и наклонными, с внешней и внутренней обкаткой.

В процессе изучения движения шаров в планетарных мельницах удалось установить соотношения угловых скоростей и углов поворота водила и барабана (рис. 2).

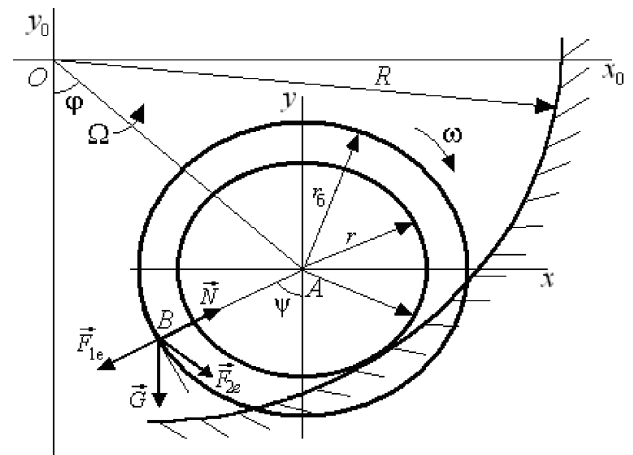


Рис. 2. Силовая схема планетарной мельницы с внутренней обкаткой

$$\Omega = \omega \frac{k}{1 \pm k}; \quad \varphi = \psi \frac{k}{1 + k}, \quad (1)$$

где ω и Ω — угловые скорости барабана и водила, рад/с; φ и ψ — углы поворота барабана и водила; k — геометрический критерий.

Геометрический критерий $k = r / R$, где r — радиус приводного элемента, м; R — радиус поверхности обкатки, м.

Знак «+» в формулах — внешняя обкатка, «-» — внутренняя.

На измельчающее тело, находящееся внутри барабана, действует сила тяжести и две инерционные силы F_{1e} и F_{2e} , связанные с поворотом барабана и водила соответственно:

$$F_{1e} = m\omega^2 kbR; \quad F_{2e} = \frac{m\omega^2 k^2 R}{1 \pm k}, \quad (2)$$

где b — второй геометрический критерий, который определяется как $b = r_0 / r$, где r_0 — радиус барабана.

Расчет силы давления шара на стенки барабана, равной нормальной реакции ($\vec{N} = \vec{F}_p$), показал (рис. 3), что она меняется циклически. Причем установлена зависимость цикличности от критерия k .

$$\tilde{N} = \Omega^2 R(1+k) \left[\frac{b(1+k)}{k} + \cos\left(\frac{\varphi}{k}\right) \right] + g \cos\left(\frac{1+k}{k}\varphi\right) \leq 0. \quad (3)$$

Изменение силы давления за один цикл свидетельствует о нестационарности процесса разрушения материала, обусловленного воздействием измельчающих тел. Поскольку относительная сила давления \tilde{F}_p (отнесенная к единице массы шара) — это ни что иное как его ускорение, то из расчетной зависимости очевидно, что она значительно превышает ускорение свободного падения. Таким образом, основным разрушающим силовым фактором в планетарных мельницах становятся инерционные силы.

Экспериментальные исследования процесса помола в планетарной мельнице подтвердили ее высокую эффективность (рис. 4).

Одновременно с исследованиями ведется работа по практическому использованию планетарных мельниц. Получено два патента Республики Беларусь [5, 6], один объект внедрен в производство.

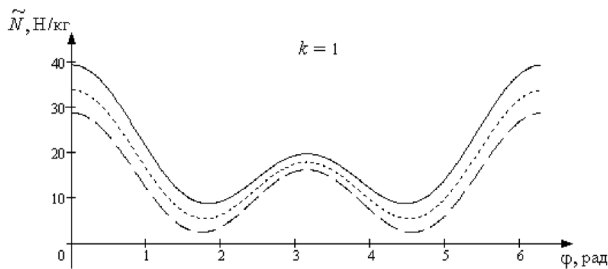


Рис. 3. Зависимость относительной реакции связи от угла поворота водила при внешней обкатке при $R = 0,2$ м

Еще одним перспективным направлением использования планетарных машин может стать заглаживание бетонных поверхностей, которое чаще всего проводится обычными вращающимися дисками (рис. 5).

Эффективность обработки поверхности оценивается заглаживающей способностью, определяемой длиной линии, по которой рабочий орган воздействует на ее каждую элементарную площадку. При обычном вращении эта линия будет представлять спираль, а при планетарном — гипо- или эпициклоиду. Расчет длины этих кривых по параметрическим уравнениям при геометрическом подобии показал, что для гипо- и эпициклоиды она значительно (2–3 раза) выше. Это уже на стадии аналитической оценки указало на более высокую эффективность заглаживания планетарных машин.

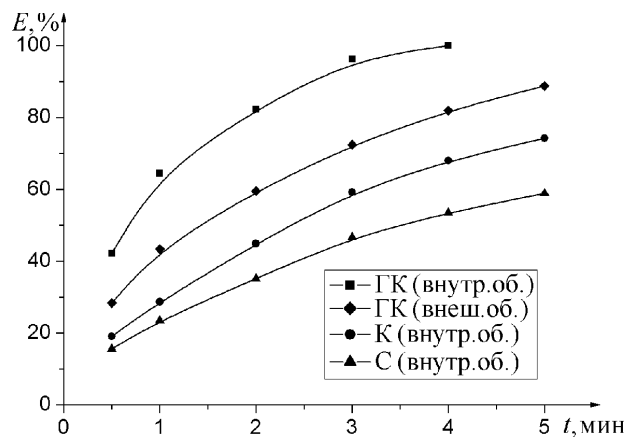


Рис. 4. Кинетика помола в планетарной мельнице: ГК — гипсовый камень; К — клинкер; С — стеклобой

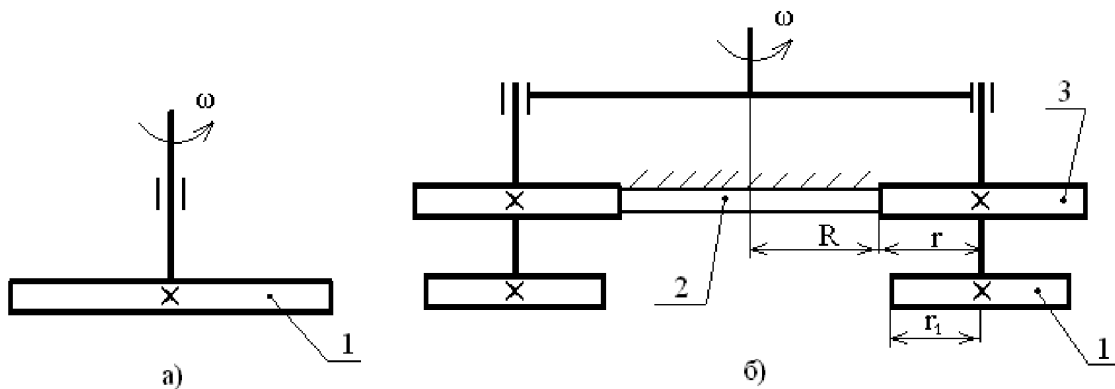


Рис. 5. Дискový рабочий орган: а) с простым вращением; б) с планетарным движением; 1 — заглаживающий диск; 2 — неподвижное колесо; 3 — обкатывающееся колесо

Теоретические предпосылки подтвердились результатами экспериментов. Экспериментальные исследования заключались в определении эффективности заглаживания искусственно созданных раковин. Причем эффективность E рассчитывалась как

$$E = \frac{S - S_i}{S} \cdot 100\%,$$

где S — площадь искусственной раковины до заглаживания; S_i — площадь искусственной раковины после i -го прохода над ней рабочего органа

Графические зависимости (рис. 6) дают возможность в полной мере убедиться в значительном повышении эффективности заглаживания за счет придания рабочему органу планетарного движения.

В плане практической реализации получено несколько патентов Республики Беларусь [7–9], отличающихся схемами привода и формой дисков. Разработан проект заглаживающей машины с планетарным движением диска.

Таким образом, теоретически и экспериментально доказана эффективность использования технологических машин планетарного типа. Это открывает для них перспективы широкого использования в различных направлениях и отраслях промышленности.

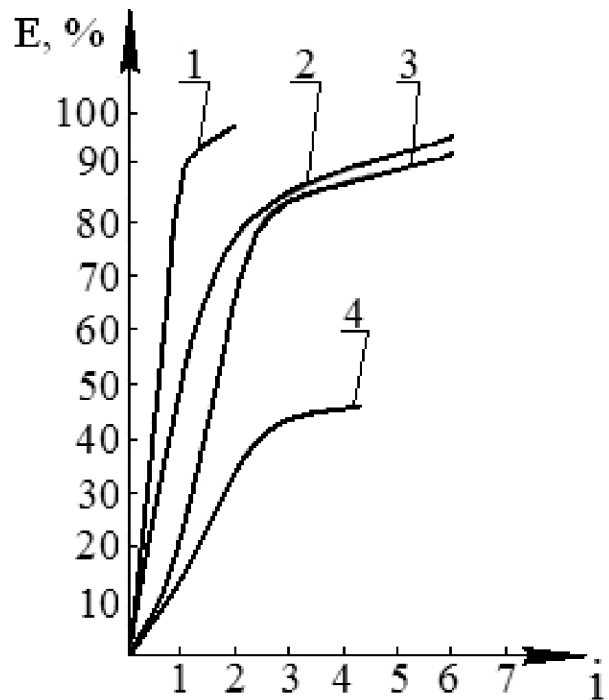


Рис. 6. Зависимость эффективности дисковых рабочих органов от количества проходов: 1, 2, 3 — с планетарным движением при частоте вращения приводного вала $n = 400$ об./мин, $n = 350$ об./мин, $n = 300$ об./мин соответственно; 4 — с простым движением диска

Литература

- 1) Краузе, Г.Н. Редукторы: справ. пособие / Г.Н. Краузе, Н.Д. Утилин, С.А. Сычко. — 2-е изд., доп. и переработ. — М.: Машиностроение, 1972. — 144 с.
- 2) Яглом, И.М. Выпуклые фигуры / И.М. Яглом, В.Г. Болтянский. — Л.: ГТТИ, 1951. — Вып. 4. — 343 с. — (Серия «Биб-ка матем. кружка»).
- 3) Штербачек, З. Перемешивание в химической промышленности: пер. с чешского. / З. Штербачек; под ред. И.С. Павлушенко. — Л.: ГХИ, 1963. — 460 с.
- 4) Вайтехович, П.Е. Интенсификация и моделирование процессов диспергирования в поле инерционных сил / П.Е. Вайтехович. — Минск.: БГТУ, 2008. — 220 с.
- 5) Мельница: пат. № 12343 Респ. Беларусь, МПК (2006) В 02 С 17/00 / П.Е. Вайтехович, [и др.]; заявитель Бел. госуд. технолог. ун-т. — № а 20070627; заявл. 24.05.07; опубл. 01.06.09 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласцінасці. — 2009. — № 3. — С.
- 6) Вайтехович, П.Е. Планетарная мельница: пат. № 11574 Респ. Беларусь, МПК7 В 02 С 17/00 / П.Е. Вайтехович, Д.В. Семененко; заявитель Бел. госуд. технолог. ун-т. — № а 20061366; заявл. 29.12.06; опубл. 10.11.08 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласцінасці. — 2008. — № 6. — С.
- 7) Вайтехович, П.Е. Заглаживающая машина: пат. №12387 Респ. Беларусь, МПК (2006) В 28 В 11/08 / П.Е. Вайтехович, Н.Н. Сидоров; заявитель Бел. госуд. технолог. ун-т. — № а 20071173; заявл. 27.09.07; опубл. 16.06.09 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласцінасці. — 2009. — № 3. — С.
- 8) Вайтехович, П.Е. Заглаживающее устройство: пат. №12696 Респ. Беларусь, МПК (2006) В 28 В 11/00 / П.Е. Вайтехович, Н.Н. Сидоров; заявитель Бел. госуд. технолог. ун-т. — № а 20080168; заявл. 51.02.08; опубл. 25.09.09 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласцінасці. — 2009. — № 6. — С.
- 9) Вайтехович, П.Е. Заглаживающая машина: пат. №11567 Респ. Беларусь. МПК (2006) В 28 В 11/080 / П.Е. Вайтехович, Н.Н. Сидоров, В.Е. Азарко; заявитель Бел. госуд. технолог. ун-т. — № а 20061367; заявл. 29.12.06; опубл. 27.10.08 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласцінасці. — 2008. — № 6. — С.