

УДК 621.838.216

## Выбор параметров храпового механизма свободного хода с направленным включением рабочих тел

**С.А. Леонов, А.И. Леонов**

*Анализируются аналитические зависимости между параметрами храпового механизма свободного хода с направленным включением рабочих тел, полученные на основе оптимизации напряжений в рабочих телах.*

**Ключевые слова:** храповой механизм свободного хода, оптимизация параметров.

*The article analyses analytic dependencies between parameters of a free-run mechanism with ordered involving of working bodies, obtained on the basis of optimization of tensions in working bodies.*

**Keywords:** free-run mechanism, parameters optimization.

Рассмотрим схему храпового механизма свободного хода с направленным включением рабочих тел (рис. 1). При повороте храпового колеса 2 относительно обоймы 4 против часовой стрелки происходит заклинивание упругих рабочих тел (пластин) 1, 3 и передача крутящего момента от храпового колеса к обойме. Тот же результат достигается при повороте обоймы 4 относительно храпового колеса 2 по часовой стрелке. При повороте храпового колеса относительно обоймы по часовой стрелке происходит свободный ход механизма (упругие пластины проскальзывают по зубьям храповика).

Рассматриваемая схема отличается от классической схемы храпового механизма с упругими рабочими телами [1, 2] тем, что каждая последующая пластина 3 смещена по храповику относительно предыдущей 1 на некоторую величину, соответствующую углу поворота  $\beta_0$  храповика (см. рис. 1). Третья по счету пластина окажется смещенной относительно первой на угол  $2\beta_0$ ,  $n$ -я пластина — на  $(n - 1)\beta_0$ . Указанное смещение легко выполнить за счет сдвига осей крепления пластин в обойме 4 от номинального положения при изготовлении механизма. В результате случайный характер заклинивания пластин из-за погрешностей изготовления деталей механизма [3, 4] заменяется направленным включением (за первой включившейся пластиной обязательно заклинивается соседняя с ней и т. д.). Обязательным требованием осуществления направленного включения является условие

$$\beta_0 > k_1 \alpha,$$

где  $\alpha$  — угол поворота храповика, соответствующий максимальной приведенной погрешности длины пластины [5], обусловленной по-



**ЛЕОНОВ**

**Сергей Анатольевич**  
аспирант кафедры  
«Теоретическая и  
прикладная механика»  
(Владимирский  
государственный  
университет)



**ЛЕОНОВ**

**Анатолий Иванович**  
доктор технических наук,  
профессор  
(Владимирский  
государственный  
университет)

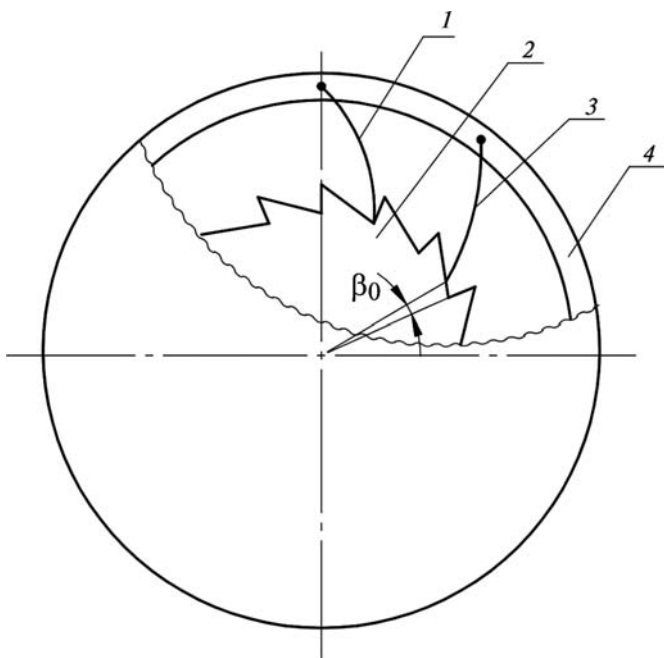


Рис. 1. Схема храпового механизма свободного хода

грешностями изготовления всех деталей механизма (длина хорды самой пластины, смещение храповика относительно обоймы из-за зазоров в подшипниках крепления этих деталей, погрешности изготовления зубьев храповика и т. д.);  $k_1$  — коэффициент запаса ( $k_1 > 1$ ).

Достоинством рассматриваемой схемы храпового механизма с направленным включением пластин является сведение к минимуму свободного хода храповика до заклинивания первой пластины. Он не может превышать угла поворота  $\beta_0$ , какая бы пластина ни включилась первой. При случайном характере заклинивания свободный ход может оказаться в несколько раз большим.

В статье [6] сформулировано условие, при выполнении которого обеспечивается равнопрочность упругих тел (одновременность достижения допустимых изгибных напряжений в среднем наиболее опасном сечении пластины и допустимых контактных напряжений в месте контакта конца пластины с зубом храповика):

$$\frac{6U_1 n \beta_0 R}{rbh^2} = 0,418k \sqrt{\frac{U_1 n \beta_0 E}{rbR_1}}, \quad (1)$$

где  $U_1$  — жесткость пластины (момент, который необходимо приложить к храповику, чтобы по-

вернуть его на 1 рад при условии заклинивания одной пластины);  $n$  — число заклинивающихся пластин;  $R$  — радиус изгиба пластины, выполненной в форме полукольца;  $b, h$  — соответственно ширина и толщина пластины;  $r$  — радиус впадин зубьев храповика;  $k$  — коэффициент, отражающий различный уровень изгибных и контактных допустимых напряжений;  $E$  — приведенный модуль упругости материалов пластины и зуба храповика,

$$E = \frac{2E_1 E_2}{E_1 + E_2},$$

где  $E_1, E_2$  — соответственно модули упругости материалов пластин и зуба храповика;  $R_1$  — приведенный радиус кривизны контактирующих поверхностей конца пластины и впадины зуба храповика.

Вычислим момент  $M$ , который передает механизм свободного хода при условии последовательного заклинивания  $n$  пластин. Момент, передаваемый пластиной, включившейся первой,

$$M_1 = U_1 \beta_1, \quad (2)$$

где  $\beta_1$  — максимальный угол поворота храповика при заклинивании механизма.

Пластина, включающаяся второй по счету, заклинится только после поворота храповика на угол  $\beta_0$  и передаст момент

$$M_2 = U_1 (\beta_1 - \beta_0). \quad (3)$$

Пластина,  $n$ -я по счету, включится после поворота храповика на угол  $\beta_0(n - 1)$  и передаст момент

$$M_n = U_1 [\beta_1 - \beta_0(n - 1)]. \quad (4)$$

При подсчете  $M$  считаем, что процесс нагружения механизма заканчивается, когда  $(n + 1)$ -я пластина включилась, но момент еще не передает, т. е., нагружены только  $n$  пластин.

Суммируя моменты от каждой из  $n$  нагруженных упругих пластин, получаем

$$M = U_1 \beta_1 + U_1 (\beta_1 - \beta_0) + \dots + U_1 [\beta_1 - \beta_0(n - 1)] = U_1 \beta_1 n - U_1 \beta_0 [1 + 2 + \dots + (n - 1)].$$

Используя здесь выражение для суммы арифметической прогрессии, находим

$$M = U_1 n \left( \beta_1 - \beta_0 \frac{n-1}{2} \right). \quad (5)$$

Учитывая зависимость  $\beta_1 = n\beta_0$ , выведенную в [1], выражение (5) преобразуем к виду

$$M = \frac{1}{2} U_1 \beta_0 n(n+1). \quad (6)$$

Выражая в (6) произведение  $U_1 \beta_0 n$  и подставляя его в (1), находим

$$\frac{12MR}{rbh^2(n+1)} = 0,418k \sqrt{\frac{2M}{n+1} \frac{E}{rbR_1}}. \quad (7)$$

Отсюда

$$n = \frac{412MR^2R_1}{rbk^2E} \frac{1}{h^4} - 1. \quad (8)$$

Полученное уравнение  $n = f(h)$  связывает параметры механизма свободного хода  $r, b, h, R, R_1$ , передаваемый механизмом момент  $M$ , количество  $n$  и толщину  $h$  пластин. Зависимость  $n = f(h)$  для данных (9) представлена на рис. 2 (сплошная кривая 1). Кривую 1 можно условно назвать кривой равнопрочности рабочих тел (упругих пластин). В каждой ее точке механизму свободного хода с параметрами (9) обеспечивается равенство изгибных напряжений в среднем наиболее опасном сечении пластины и контактных напряжений в месте контакта конца пластины с зубом храповика (с учетом различных уровней этих напряжений).

$$M = 50 \text{ Нм}; \frac{R}{r} = 0,5; b = 1 \cdot 10^{-2} \text{ м}; k = 0,6; \\ R_1 = 0,35 \cdot 10^{-2} \text{ м}; E = 19,62 \cdot 10^{10} \text{ Па}. \quad (9)$$

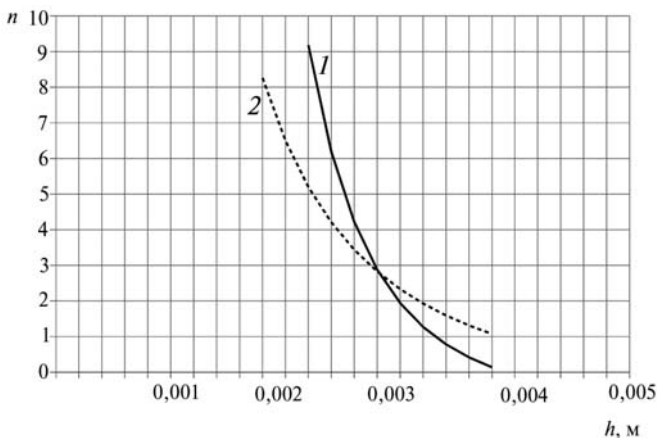


Рис. 2. Кривые зависимости числа пластин от толщины пластины

Уравнение (8) использует лишь равенство изгибных и контактных напряжений с учетом их различного уровня. Поэтому к уравнению (8) нужно добавить ограничение изгибного или контактного напряжения, например,

$$\sigma_{и} = \frac{6PR}{bh^2} \leq [\sigma]_{и},$$

где  $P$  — сила, действующая со стороны храповика на упругую пластину,  $P = \frac{M_1}{r}$ .

Используя формулу (2) для  $M_1$  и выражение (6) для  $M$ , последнее неравенство преобразуем к виду

$$\frac{12MR}{rbh^2(n+1)} \leq [\sigma]_{и}. \quad (10)$$

Отсюда

$$n \geq \frac{12MR}{rb[\sigma]_{и}} \frac{1}{h^2} - 1. \quad (11)$$

Зависимость  $n = f_1(h)$ , согласно (11), для данных (9) представлена на рис. 2 штриховой кривой 2; принято  $[\sigma]_{и} = 9,81 \cdot 10^8$  Па. Ее можно условно назвать кривой ограничения напряжений. В каждой ее точке изгибные и контактные напряжения не превышают допустимых. Точка пересечения кривых 1 и 2 является оптимальной для выбора параметров. В ней обеспечивается равнопрочность рабочих тел и в то же время напряжения не превышают допустимых.

Точка пересечения кривых 1 и 2 может быть найдена с помощью аналитического выражения. Приравняв правые части уравнений (8) и (11), получим

$$\frac{412MR^2R_1}{rbk^2E} \frac{1}{h^4} - 1 = \frac{12MR}{rb[\sigma]_{и}} \frac{1}{h^2} - 1$$

или

$$\frac{1}{h^2} \left[ \frac{412RR_1}{k^2E} \frac{1}{h^2} - \frac{12}{[\sigma]_{и}} \right] = 0.$$

Отсюда находим интересующий корень уравнения

$$h = \sqrt{\frac{34,3RR_1[\sigma]_н}{k^2 E}}. \quad (12)$$

Значение  $h$ , представленное равенством (12), и является оптимальным.

#### Литература

1. *Леонов А.И.* Инерционные автоматические трансформаторы вращающего момента. М.: Машиностроение, 1978. 224 с.
2. *Рязанов А.А., Леонов А.И., Филимонов В.Н.* Перспективные разработки храповых механизмов свободного хода и результаты испытаний // Актуальные проблемы машиностроения на современном этапе: Тезисы докл. Владимир: ВПИ, 1991. С. 48–49.
3. *Мельник А.Н.* К методике расчета микрохрапового механизма свободного хода с упругими пластинами // Дина-

мика инерционных трансформаторов, приводов и устройств / Под ред. А.И. Леонова. Челябинск: ЧПИ, 1981. № 261. С. 103–107.

4. *Фолифоров М.А., Леонов А.И.* Определение предпочтительной области податливостей криволинейных рабочих тел храпового МСХ // Вооружение, технология, безопасность, управление: Материалы IV научно-технической конференции аспирантов и молодых ученых. Ковров: КГТА, 2009. С. 67–74.

5. *Фолифоров М.А.* Влияние погрешностей изготовления различных элементов механизма свободного хода на условия его заклинивания // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2007. № 11.

6. *Леонов С.А.* Оптимизация параметров храпового механизма свободного хода с упругими рабочими телами // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2011, № 2.

Статья поступила в редакцию 14.02.2011 г.

---

## В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ МГТУ им. Н.Э. БАУМАНА вышел в свет учебник под общей редакцией К.С. Колесникова и В.В. Дубинина «Курс теоретической механики»

В учебнике изложены вопросы кинематики, статики, динамики точки, твердого тела и механической системы; аналитической механики, теорий колебаний и удара. Дано введение в динамику тел переменной массы, а также основы небесной механики. Приведены примеры решения задач.

Учебник предназначен для студентов машиностроительных вузов и технических университетов, может быть полезен специалистам в области статики и динамики механических систем.

По вопросам приобретения обращаться:  
Тел.: (499) 263-60-45, тел./факс: 261-45-97