

## Литература

1. Shih R. Autodesk Inventor 2025 and Engineering Graphics. SDC Publications. Mission, KS, USA. 2024. 670 с.

2. Дунаев П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин. – М.: Высшая школа, 1978г.

УДК 621.855

**Демонстрация в учебном процессе изменения поступательной скорости  
движения цепи в цепной передаче**

Студент гр. 10305223 Гуринович А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сашко К.В.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Цепные передачи широко применяются в транспортных, сельскохозяйственных, горных, строительных, нефтяных машинах, станках благодаря своим достоинствам. У них отсутствует проскальзывание, они компактны потому что занимают значительно меньшее место по ширине, оказывают меньшие нагрузки на валы и подшипники, не требуют предварительных натяжений цепи, позволяют передавать вращение на большие расстояния, имеют КПД постигающий 0,98. Они могут применяться при передачи мощностей до 5000 кВт и скоростей до 30 – 35 м/с. К недостаткам цепных передач относятся: увеличение шага цепи в следствии износа её шарниров, беспокойный ход, возникновение динамических нагрузок, шум при работе, требует постоянного ухода при её эксплуатации.

По конструкции цепи бывают: втулочные, роликовые, зубчатые, фасонные, однорядные и многорядные.

Если рассматривать конструкцию данных цепей, то они имеют: наружные и внутренние пластины. Внутренние пластины напрессовываются на втулки, на которые предварительно надеваются с зазором ролики и этим образуют звено цепи. Во втулки вставляют оси, на которые с двух сторон напрессовываются наружные пластины. Концы осей расклепывают с образованием головки и шарнира. Две наружные пластины двумя осями образуют звено из двух внутренних звеньев. Цепь входит в сцепление со звездочкой посредством ролика, который, поворачиваясь на втулке, перекачивается по зубу звездочки и поворачивает ее на определенный угол.

Изготавливают пластины из среднеуглеродистых или легированных 40,45,50, 30ХН3А с термообработкой до твёрдости HRC32...44, а валики, втулки, ролики и вкладыши – из цементируемых сталей 10, 15, 20, 12ХН3А, 20ХН3А, 30ХН3А с термообработкой до твёрдости HRC40...65.

Звёздочки цепных передач по конструкции подобны зубчатым колёсам и имеют размеры и профиль зубьев зависящий от типа и размеров цепи и они стандартизованы

Динамические нагрузки в цепной передаче возникают из-за неравномерности движения цепи и ведомой звёздочки, а также из-за технологических ошибок, допущенных при производстве и установке цепи и звёздочек. Относительное удлинение цепи, вызванное износом её шарнирных соединений, негативно сказывается на динамике цепных передач. Длина ведущей ветви цепной передачи также изменяется из-за радиальных колебаний валов и зубчатых венцов, а также наличия зазоров между ступицей звёздочки и валом. Поэтому погрешности в изготовлении и монтаже цепных передач должны находиться в пределах допустимых значений [1].

Экспериментальные данные показывают, что основными причинами выхода из строя цепных передач являются:

1. Износ шарниров (вследствие ударов при зацеплении цепи с зубьями звёздочки и трения), что приводит к удлинению цепи и нарушению её зацепления со звёздочками. Граничное удлинение цепи из-за износа шарниров не должно превышать 3%, так как это нарушает правильность зацепления.

2. Усталостное разрушение пластин по проушинам — основной критерий для быстроходных и тяжело нагруженных роликовых цепей, работающих в закрытых картерах с качественным смазыванием.

3. Проворачивание валиков и втулок в пластинах в местах запрессовки — распространённая причина выхода из строя цепей, связанная с недостаточно высоким качеством изготовления.

4. Выкрашивание и разрушение роликов.

5. Достижение предельного провисания холостой ветви — один из критериев для передач с нерегулируемым межосевым расстоянием, работающих без натяжных устройств и в стеснённых условиях.

6. Износ зубьев звёздочек.

Исходя из указанных причин выхода цепных передач из строя, можно заключить, что срок службы передачи чаще всего ограничивается долговечностью цепи, которая, в свою очередь, в первую очередь зависит от износостойкости шарниров.

Из-за пульсирующего изменения расстояния от центра вращения звёздочки до продольной оси цепи (рис. 1) цепь движется с непостоянной



$$V_{ц} = \omega \frac{D}{2} \cos \varphi, \quad (2)$$

где  $D$  – диаметр делительной окружности звездочки.

Ускорение цепи

$$\alpha_{ц} = \frac{dV_{ц}}{dt} = -\frac{\omega D}{2} \sin \varphi \frac{d\varphi}{dt} = -\omega^2 \frac{D}{2} \sin \varphi, \quad (3)$$

отношение

$$\frac{d\varphi}{dt} = \omega. \quad (4)$$

Здесь значение угла  $\varphi$  изменяется в пределах от  $-\frac{\alpha_0}{2}$ , что соответствует моменту входа в зацепление шарнира, до угла  $\varphi = \frac{\alpha_0}{2}$  – момента входа в зацепление следующего шарнира.

Максимальное ускорение возникает при  $\varphi = \pm \frac{\alpha_0}{2}$

$$\alpha_{ц\max} = \pm \omega^2 \frac{D}{2} \sin \frac{\alpha_0}{2}. \quad (5)$$

Когда зуб входит в соприкосновение с шарниром цепи, то ускорение мгновенно возрастает от  $-\alpha_{ц\min}$  до  $+\alpha_{ц\max}$  (рис. 2).

### **Описание экспериментальной установки.**

На рисунке 3 схематически изображен учебный прибор для демонстрации изменений скорости движения цепи в цепной передаче (боковой вид – рис. 3, а; верхний вид – рис. 3, б).

Учебный прибор для демонстрации изменений линейной скорости движения цепи в цепной передаче [2] состоит из рамы 1, на которой установлена опора 2 ведомой звездочки 3 с четырьмя зубьями. Она соединена цепью 4 с ведущей звездочкой 5, также имеющей четыре зуба, установленной на опоре 6 и приводимой во вращение рукояткой 7.

Для фиксации угла поворота ведущей звездочки 5 к её торцу прикреплен звездочка 8 храпового останова, а её собачка 9 закреплена на опоре 6 ведущей звездочки 5. Более того, посередине зуба на диаметре

делительной окружности ведущей звездочки 5 по касательной к делительной окружности на кронштейне 10 закреплена стрелка 11 со шкалой, указывающая направление окружной скорости ведущей звездочки 5.

На острие стрелки 11 на оси 12 с возможностью поворота установлен двухсторонний отвес, верхняя часть 13 которого выполнена из тонкой стальной проволоки, а нижняя 14 – из тонкой стальной пластины, имеющей значительно больший вес, чем проволока, что обеспечивает строго вертикальное положение двухстороннего отвеса.

К звену цепи 4, подходящему к зубу ведущей звездочки 5, прикреплена линейка 15 со шкалой. Направление линейки 15 совпадает с направлением движения цепи 4, и по ней определяются горизонтальные проекции  $l_1, l_2, l_3$  и т. д. стрелки 11, которые умножаются на масштаб  $\mu$  для вычисления поступательной скорости  $V_{ц}$  цепи.

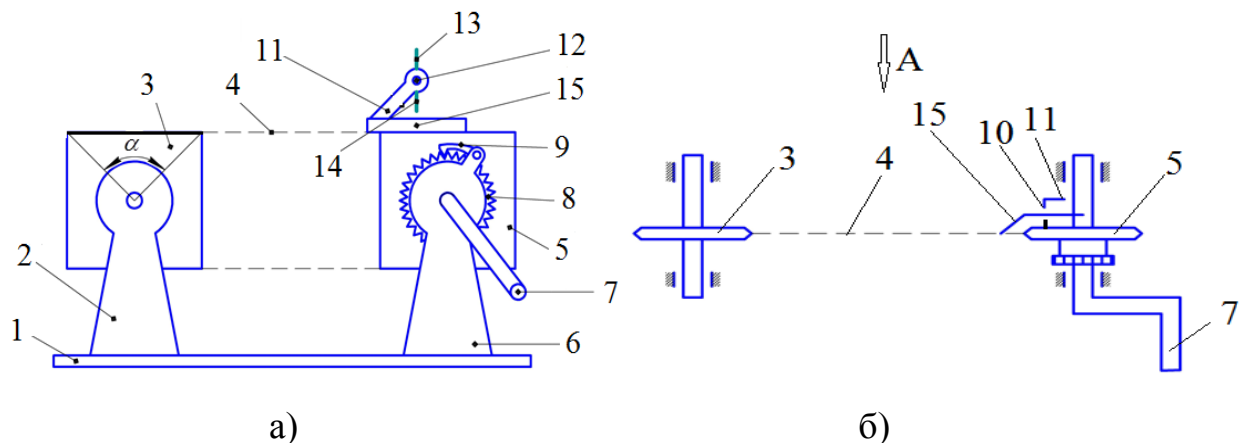


Рис. 3 а, б – Учебный прибор для демонстрации изменения поступательной скорости движения цепи в цепной передаче 1 – рама; 2 – опора; 3 – ведомая звездочка; 4 – цепь; 5 – ведущая звездочка; 6 – опора; 7 – рукоятка; 8 – звездочка храпового останова; 9 – собачка; 10 – кронштейн; 11 – стрелка; 12 – ось; 13 – верхний участок отвеса; 14 – нижний участок отвеса; 15 – линейка

### Порядок проведения работы.

Учебное устройство для иллюстрации изменения линейной скорости движения цепи в пределах центрального угла  $\alpha = 90^\circ$  в цепных передачах функционирует следующим образом:

1. Сначала измеряют расстояние между осями звездочек  $L_1$ , шаг цепи  $t_{ц}$  и заносят полученные данные в таблицу 1.

Таблица 1

Замеряемые значения

| Наименование                         | Параметры | Значения |
|--------------------------------------|-----------|----------|
| Расстояние между осями звездочек, мм | $L$       | 290      |
| Шаг цепи, мм                         | $t_{ц}$   | 150      |
| Длина стрелки 11, мм                 | $l$       | 120      |

2. Исходя из указанной преподавателем окружной скорости ведущей звездочки  $V_0$  (например,  $V_0=1.2$  м/с), вычисляют масштаб шкалы стрелки 11 по следующей формуле:

$$\mu = V_0 / l = \frac{1.2}{120} = 0.01 \frac{\text{м} / \text{с}}{\text{мм}} = 10 \frac{\text{мм} / \text{с}}{\text{мм}}, \quad (6)$$

где  $l$  – длина шкалы стрелки 11.

3. Горизонтальная проекция окружной скорости (ГПОС)

$$V_{ц} = V_0 \cos \varphi \quad (7)$$

Определяют диаметр звездочки

$$D = \frac{t_{ц}}{\sin \frac{180}{z}} = \frac{150}{\sin 45} = 211.3 \text{ мм}, \quad (8)$$

где  $z$  – число зубьев звездочки.

4. С помощью рукоятки 7 устанавливают ведущую звездочку 5 в положение, соответствующее входу зуба ведущей звездочки 5 в зацепление с цепью 4. В этот момент, используя нижний участок 14 двухстороннего отвеса, фиксируют горизонтальную проекцию  $l_1$  стрелки 11 по шкале линейки 15. Последовательно поворачивая рукоятку 7 ведущей звездочки на угол  $\varphi = 15^\circ$ , фиксируют горизонтальные проекции  $l_2$ ,  $l_3$  и так далее стрелки 11. Когда зуб ведущей звездочки 5 займет вертикальное положение, поступательная скорость  $V_{ц}$  цепи 4 будет равна окружной скорости  $V_0$  ведущей звездочки 5, а стрелка 11 примет горизонтальное положение. При

дальнейшем последовательном повороте ведущей звездочки 5 горизонтальная проекция стрелки 11 будет фиксироваться верхним участком 13 двухстороннего отвеса.

5. Для определения поступательной скорости  $V_{ц}$  цепи 4 горизонтальные проекции  $l_1, l_2, l_3$  и так далее стрелки 11 умножают на масштаб  $\mu$ , и полученные данные заносят в таблицу 2.

6. Ускорение цепи определяют по формуле:

$$\alpha_{ц} = -\frac{2V_o^2}{D} \sin \varphi . \quad (9)$$

Полученные данные вносят в таблицу 2.

Таблица 2

Расчетные данные

| Величина угла $\varphi$ ,<br>град                   | -45  | -30   | -15   | 0   | 15    | 30    | 45    |
|-----------------------------------------------------|------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|
| Длины<br>горизонтальных<br>проекций стрелки 11, мм  | 85,2 | 103,2 | 115,2 | 120 | 115,2 | 103,2 | 85,2  |
| ГПОС $V_{ц}$ , мм/с                                 | 7,1  | 8,6   | 9,6   | 10  | 9,6   | 8,6   | 7,1   |
| Ускорение цепи $\alpha_{ц}$ ,<br>мм <sup>2</sup> /с | 91,8 | 64,6  | 33,6  | 0   | -33,6 | -64,6 | -91,8 |

7. Строят диаграмму изменения скорости движения и ускорения цепи.

Таким образом, учебное устройство позволяет иллюстрировать изменение линейной скорости движения цепи в цепной передаче в зависимости от угла поворота ведущей звездочки 5.

### Литература

1. Детали машин. Теория и расчет: учебно-методическое пособие / Скойбеда А.Т., Скойбеда А.Т., и др. Минск: БГАТУ, 2014. – 372 с.
2. Учебный прибор для демонстрации изменения поступательной скорости движения цепи в цепном транспортере: патент 21682 С2 Респ. Беларусь, МПК G 09В 23/08 / Н.Н. Романюк (ВУ), К.В. Сашко (ВУ), П.В. Клавсуть (ВУ), А.Н. Демиденко (ВУ); заявитель Беларус. Гос. Аграр. техн. ун-т. – №

а20131436; заявл. 04.12.2013; опубл. 28.02.2018 // Официальный бюл. / Нац. Центр интеллектуальной собственности. – 2018. - № 1. – С.154.

УДК 621.855

### **Исследование износа приводных втулочно-роликовых цепей**

Студент гр. 10305223 Дубовик П.А.

Научный руководитель – доцент Сашко К.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Цепная передача – механизм для передачи энергии между параллельными валами с помощью гибкого элемента (цепи) и звёздочки. Цепи по своему назначению классифицируются на несколько основных типов [1]:

1. Приводные цепи: используются для передачи движения на расстояние от одного вала (источника энергии) к другому валу (исполнителю полезной работы). Примеры: часто применяют роликовые и втулочные ремни, которые используются в велосипедах, мотоциклах и промышленном оборудовании;

2. Тяговые цепи: используются для перемещения грузов или материалов в транспортерных системах. Примеры: тяговые роликовые или втулочные цепи, а также скребковые цепи;

3. Конвейерные цепи: Предназначены для перемещения предметов вдоль производственной линии. Они могут быть специализированными для различных отраслей, например пищевой или автомобильной;

4. Грузовые цепи: применяются для подъема или удержания тяжелых грузов. Например: в кранах или подъемниках.

Роликовые приводные цепи (рис. 1) применяют при скоростях  $V \leq 15$  м/с. Если рассматривать конструкцию данных цепей, то они имеют: наружные 2 и внутренние пластины 3. Внутренние пластины напрессовываются на втулки 5, на которые предварительно надеваются с зазором ролики 6 и этим образуют звено цепи. Во втулки вставляют оси 4, на которые с двух сторон напрессовываются наружные пластины 2. Концы осей расклепывают с образованием головки и шарнира. Две наружные пластины двумя осями образуют звено из двух внутренних звеньев. Цепь входит в сцепление со звездочкой посредством ролика, который, поворачиваясь на втулке, перекачивается по зубу звездочки и поворачивает ее на определенный угол.

Втулочные и роликовые цепи изготавливают однорядными (рис. 1) и многорядными (рис. 1) с числом рядов 2 и более. Многорядные цепи могут работать при существенно больших скоростях движения цепи и нагрузках, возрастающих почти пропорционально числу рядов.