

## ВЛИЯНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ ИНЕРЦИИ НА НАТЯЖЕНИЕ ЗВЕНЬЕВ ЦЕПИ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ЗУБЬЯХ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЗВЕЗДОЧКИ

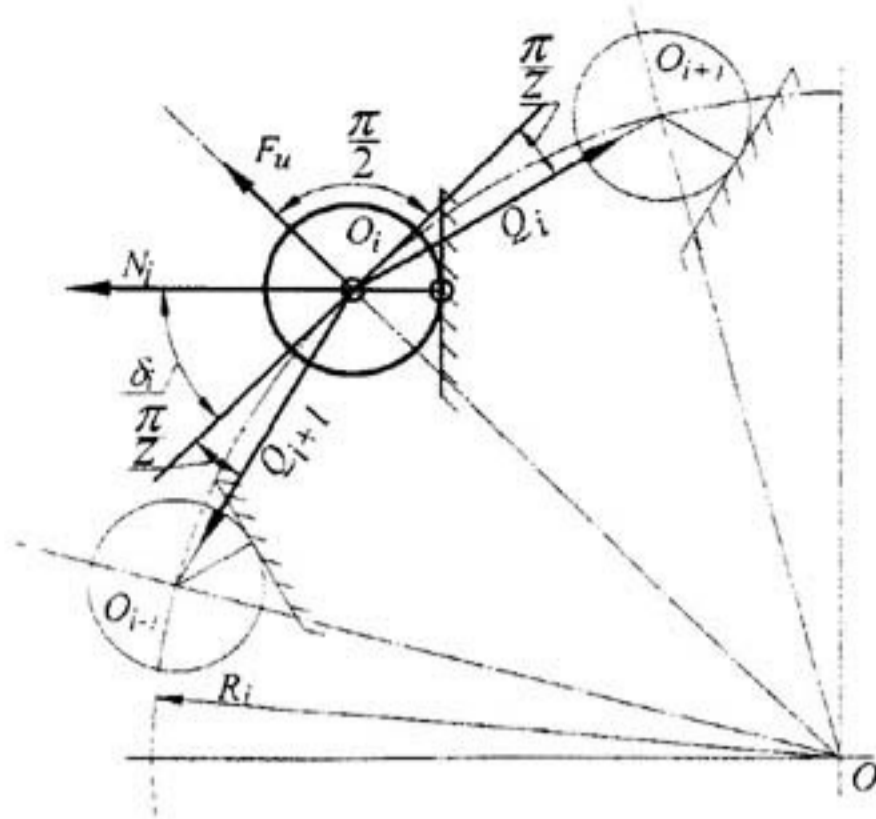
*В работе показано существенное влияние центробежных сил инерции на натяжение звеньев цепи, расположенных на зубьях вращающейся звездочки, которые могут быть сравнимы с разрывным усилием для цепи данного шага; приведены графики изменения натяжения звеньев цепи в зависимости от её шага, числа зубьев и угловой скорости звездочки.*

Известно [1,2,3,4], что силы инерции существенно влияют на работоспособность цепной передачи. Они приводят к значительному снижению динамических показателей передачи. Однако расчет влияния этих сил на показатели работы передачи ведётся по эмпирическим, довольно сложным, зависимостям. В связи с этим при расчете цепных передач вводят ряд рекомендаций, ограничивающих их параметры. Наибольшим ограничениям подвергаются линейная скорость цепи в зависимости от её шага; или для данного типа и шага цепи ограничивают частоту вращения меньшей (обычно ведущей) звездочки. Причем, при подборе шага цепи, его выбирают [1,2,3] с большим запасом прочности. Так при малом сроке службы (1000...4000 час.) коэффициент запаса  $k$  принимают равным 8,5...12,1, а при больших сроках эксплуатации (10000 час.) до  $k = 30$ .

Такое состояние вопроса связано с недостаточной обоснованностью, при расчете цепных передач, сил влияющих на ее работоспособность. Нами сделана попытка проанализировать силы действующие на шарнир цепи, расположенный на зубе вращающейся звездочки, и определить их влияние на натяжение звеньев.

На  $i$ -й шарнир цепи, расположенный на зубе вращающейся звездочки (рис. 1а) при нормальной форме, действуют следующие силы: натяжение звеньев  $Q_i$  и  $Q_{i+1}$ , давление  $N_i$  со стороны зуба и центробежная (нормальная) сила инерции  $F_u$ , обусловленная массой одного звена, условно сосредоточенной в центре шарнира.

a)



б)

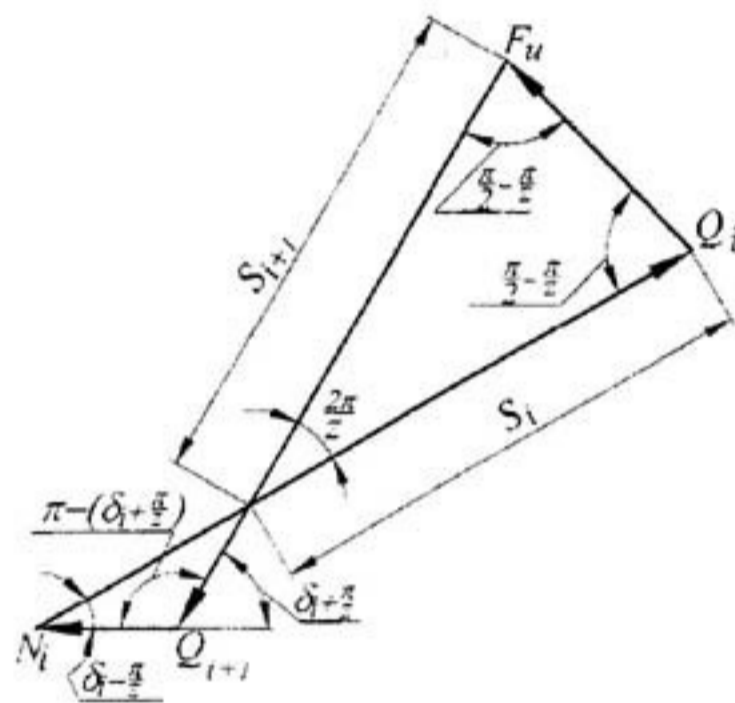


Рис. 1. Схема сил, действующих на  $i$ -й шарнир цепи, расположенный на зубе вращающейся звездочки (а); силовой многоугольник, построенный для  $i$ -го шарнира (б)

Согласно принципу Даламбера и метода кинетостатики [5] следует, что, под действием указанных сил, шарнир можно рассматривать как находящийся в равновесии. На рис. 1б для этого случая построен силовой многоугольник, анализируя который сделаем вывод о том, что звенья цепи растягиваются силами  $Q_i$  и  $Q_{i+1}$ . Последние можно рассматривать как натяжения, обусловленные силами в ведущей и ведомой ветвях ( $F_i, F_{i+1}$ ), и натяжения ( $S_i, S_{i+1}$ ) от действия центробежных сил инерции одного звена цепи  $F_u$ . Таким образом

$$Q_i = F_i + S_i \quad (1)$$

$$Q_{i+1} = F_{i+1} + S_{i+1} \quad (2)$$

Рассматривая силовой многоугольник (рис. 1б), согласно теореме синусов, можно записать отношения

$$\frac{N_i}{F_i} = \frac{\sin \frac{2\pi}{z}}{\sin(\delta_i + \frac{\pi}{z})} = A^{-} \quad (3)$$

– коэффициент передачи усилия (обусловленного соотношением усилий в ведущей и ведомой ветвях передачи) от  $i$ -го звена цепи на  $i$ -й зуб звездочки;

$$\frac{F_i}{F_{i+1}} = \frac{\sin(\delta_i + \frac{\pi}{z})}{\sin(\delta_i - \frac{\pi}{z})} = B^{-} \quad (4)$$

– коэффициент изменения величины усилия в  $i+1$ -м звене по отношению к  $i$ -у, вызванных теми же усилиями в ветвях передачи;

$$\frac{F_{i+1}}{F_i} = \frac{\sin(\delta_i - \frac{\pi}{z})}{\sin(\delta_i + \frac{\pi}{z})} = C^- \quad (5)$$

– коэффициент изменения величины усилия в  $i$ -м звене по отношению к  $i+1$ -у. Центробежная сила инерции  $F_u$  может быть рассчитана [5] по зависимости

$$F_u = m_1 \cdot \omega^2 \cdot \rho \quad (6)$$

где:

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (7)$$

– угловая скорость звездочки ( $C^{-1}$ );  $n$  – частота вращения ( $\text{мин}^{-1}$ );  $m_1$  – масса одного звена цепи (кг);

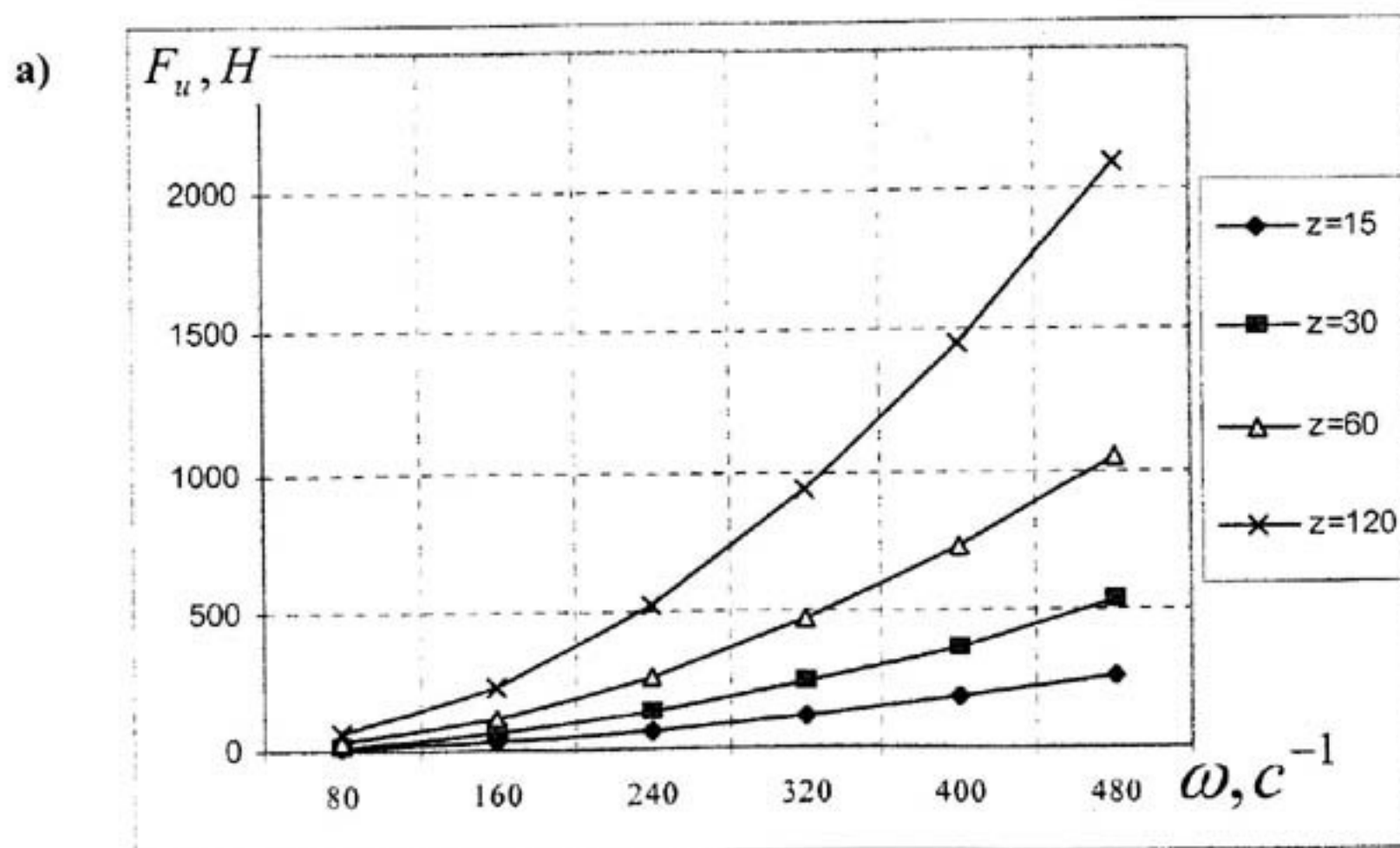
$$\rho = \frac{t}{\sin \frac{\pi}{z}} \quad (8)$$

– радиус расположения шарнира цепи на зубе звездочки;  $t$  – шаг цепи (м);  $z$  – число зубьев звездочки.

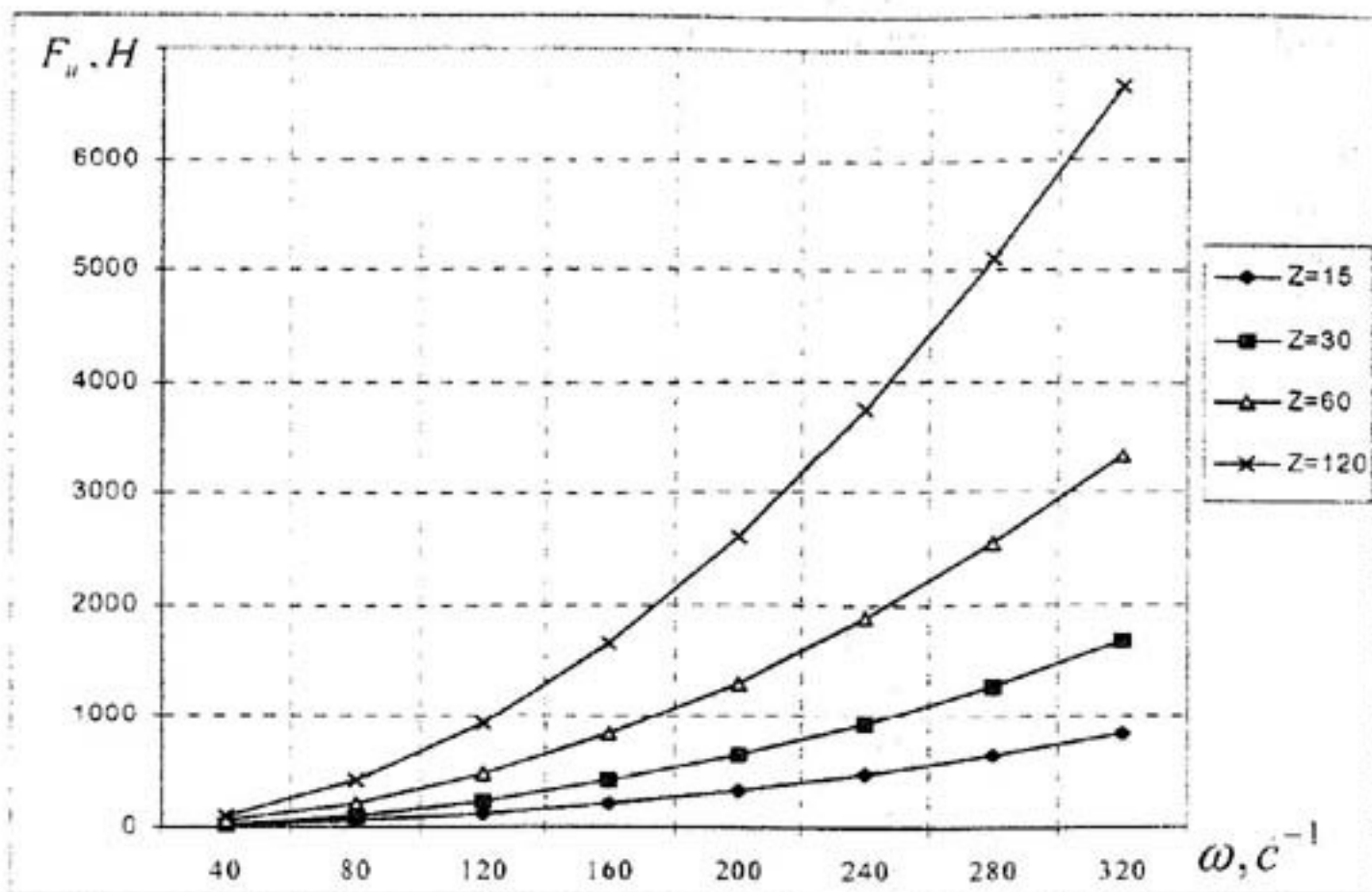
По зависимости (6), с учетом (7) и (8) для различных параметров передачи сделаны расчеты сил инерции  $F_u$  представленные (рис. 2) графиками: для шага цепи  $t = 15,875$  мм и чисел зубьев звездочки  $z$  от 15 до 120 – рис. 2а; для тех же чисел зубьев и шага цепи  $t = 25,4$  мм – рис. 2б и для  $t = 38,1$  мм – рис. 2в.

Из графиков видно, что сила  $F_u$  очень мала при малых оборотах вала звездочки. С увеличением угловой скорости, а, следовательно, и частоты вращения  $n$ , сила инерции быстро нарастает и может быть сравнима с натяжением звеньев цепи, обусловленным усилиями в ветвях передачи.

Такая закономерность наблюдается на всех графиках (рис. 2). Причем, сила инерции нарастает с увеличением чисел зубьев звездочки и может достигать сопоставимого с разрушающей нагрузкой цепи  $Q_p$  значения. Так для шага цепи  $t = 15,875$  мм разрушающая нагрузка  $Q_p = 23$  кН, а сила инерции  $F_u = 2,1$  кН; для шага  $t = 25,4$  мм –  $Q_p = 60$  кН, а  $F_u = 6,6$  кН; для  $t = 38,1$  мм –  $Q_p = 127$  кН, а  $F_u = 31,4$  кН.



б)



в)

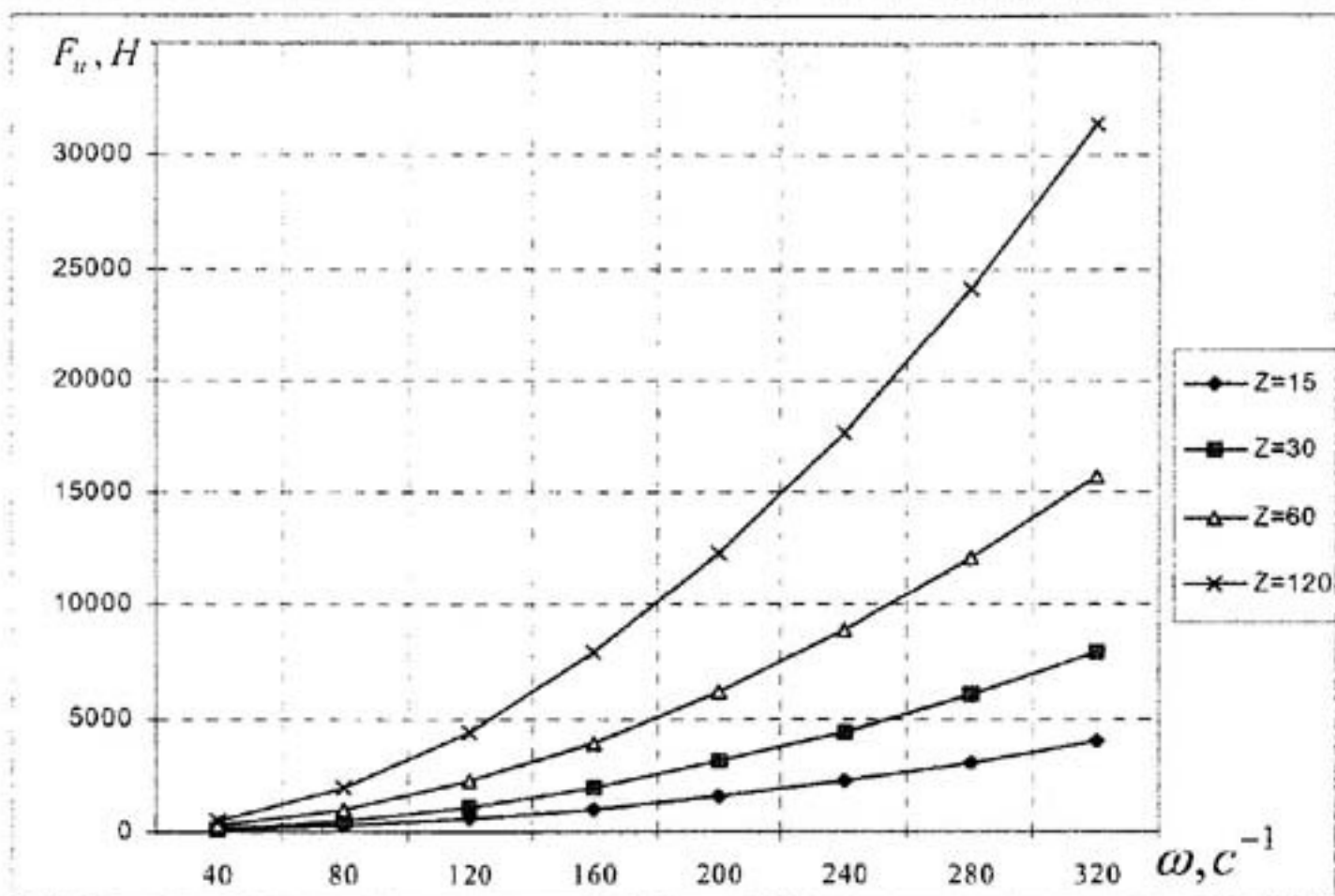


Рис. 2. Изменение силы инерции ( $F_u$ ) звена цепи в зависимости от частоты вращения ( $\omega$ ) и числа зубьев звездочки ( $z$ ): а) с шагом  $t = 15,875$  мм.; б) с шагом  $t = 25,4$  мм.; в) с шагом  $t = 38,1$  мм.

Если рассмотреть (рис. 1.б) треугольник сил, образованный силами  $F_u$ ,  $S_i$ ,  $S_{i+1}$ , то, при нормальной форме расположения шарниров цепи на зубе вращающейся звездочки, можно записать такую формулу

$$S_i = S_{i+1} = \frac{F_u}{2 \sin \frac{\pi}{z}}; \quad (9)$$

здесь  $S_i$  и  $S_{i+1}$  – соответственно натяжение в  $i$ -м и  $i+1$ -м звеньях цепи, обусловленные центробежной силой инерции. Расчеты, произведенные по формуле (9), выражены в виде графика изображенного на рис. 3.

Из графика видно, что натяжение звеньев ( $S_i$ ) значительно больше силы инерции  $F_u$ . Так для цепи шага  $t = 25,4$  мм при  $z = 60$  и  $\omega = 320$  с<sup>-1</sup> имеем  $Q_p = 60$  кН, в то время как  $S_i = 32$  кН, а при  $z = 90$  и той же угловой скорости  $S_i = 72$  кН, что превосходит  $Q_p$ .

Таким образом, показано, что натяжения звеньев цепи на дуге обхвата цепью звездочки, при большой угловой скорости шарниров близки к разрывным усилиям цепи, и могут привести к потере работоспособности цепной передачи.

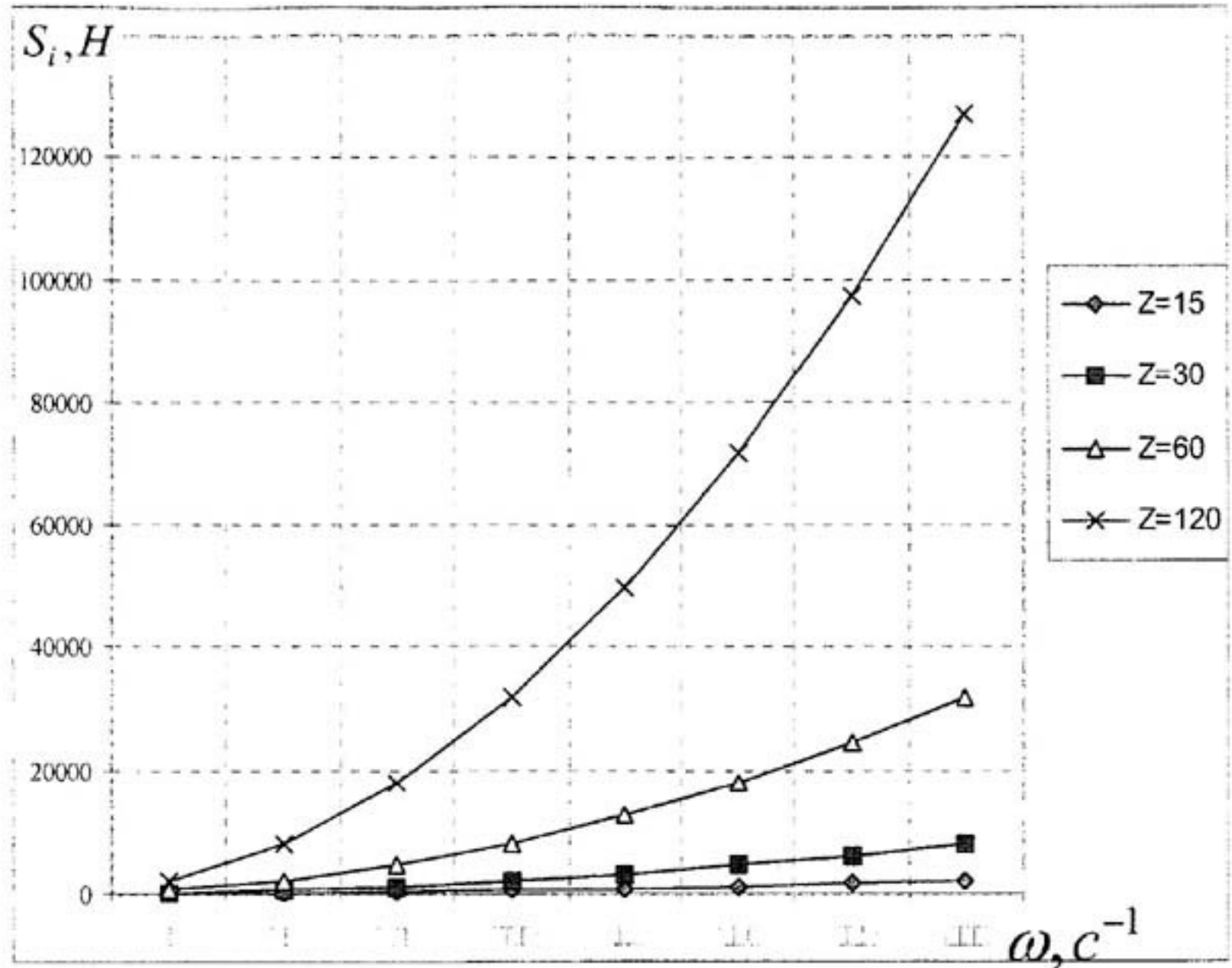


Рис. 3. Изменение натяжения звеньев цепи ( $S_i$ ), в зависимости от частоты вращения ( $\omega$ ) и числа зубьев ( $z$ ) звездочки с шагом  $t = 25,4$  мм

**Литература:**

1. Готовцев А.А. Проектирование цепных передач: Справочник / А.А. Готовцев, И.П. Котенок – М.: Машиностроение, 1982. – 336 с.
2. Решетов Д.Н. Детали машин / Д.Н. Решетов – М.: Машиностроение 1989. – 496 с.
3. Глущенко И.П. Цепные передачи / И.П. Глущенко, А.А. Петрик – Киев: Техника, 1979. – 104 с.
4. Петрик А.А. Проектирование открытых цепных передач / А.А. Петрик, С.А. Метильков, А.В. Пунтус, С.Б. Бережной – Краснодар: Куб. ГТУ, 2002. – 156 с.
5. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики / С.М. Тарг – М.: Высшая школа, 1998. – 416 с.