

УДК 677.024

В. А. Макаров, к.т.н., **Е. Н. Хозина**, к.т.н., проф., **А. Н. Гаврилов**, аспирант, Московский государственный университет дизайна и технологии

E-mail: hozina2006@yandex.ru

Оптимальное распределение передаточного отношения в редукторе и мультипликаторе

В статье представлена методика выявления оптимального передаточного отношения в многоступенчатых кулачково-рычажных механизмах с целью минимизации приведенной силы в приводе.

Ключевые слова: четырёхзвенник, передаточное отношение, приведенная сила, редуктор, мультипликатор.

V. A. Makarov, E. N. Khozina, A.N. Gavrilov

Optimum Distribution Transfer Relations in Reducers and Multipliers

The article presents a method to identify the optimal gear ratio in multi-cam-lever mechanisms to minimize the reduced force in the drive.

Keywords: foursections, gearratio, reducedpower, reducer, multiplier.

В приводах механизмов, в которых для выполнения заданной технологической операции, ведомое (рабочее) звено имеет продолжительный выстой и различные формы перемещения, широко применяются многоступенчатые кулачково-рычажные механизмы.

В зависимости от величины перемещения передающий механизм может быть редуктором или мультипликатором и может иметь различное число ступеней преобразования величины и формы движения, задаваемого кулачковым приводом.

Исследуем, как на величину реакции в паре «кулачок-ролик» привода влияет распределение общего передаточного отношения механизма ($i_{\text{Общ}}$) в каждой из её ступеней в рычажной передаче.

Общее передаточное отношение принято: для передачи типа «редуктор»- 0,25, для «мультипликатора»- 4,0. Для исследования частных передаточных отношений составляющих $i_{\text{Общ}}$ выбраны законы: равномерный, равномерно-возрастающий (убывающий) и экспоненциальный. В расчетах сделаем допущения, что нагрузки в каждой ступени передачи принимаются условно равными и постоянными, т.е.

независящими ни от вида движения звена, ни от его положения, а также от расположения ступени передачи, несущей в себе общее ($i_{\text{ОБЩ}}$), или частное ($i_{\text{ЧАСТН}}$) передаточные отношения [2].

Расчётный передаточный механизм представлен на рис.1 (а, б), он имеет $i_{\text{ОБЩ}}$ и $i_{\text{ЧАСТН}} = 1,0$ и состоит из 4-х последовательно установленных диад, в котором каждая диада может иметь частное передаточное отношении лежащее в интервале $i_{\text{ЧАСТН}} = 0,25 \div 4,0$.

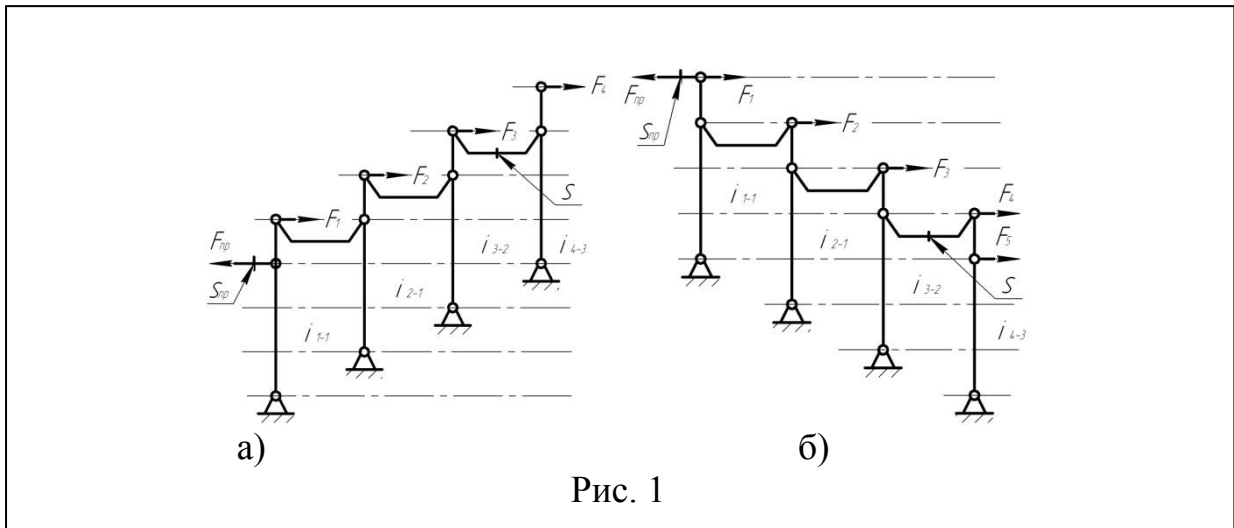


Рис. 1

В качестве основных показателей влияния расположения $i_{\text{ОБЩ}}$ в одной из ступеней передачи выбраны два фактора: приведённая сила в приводе передачи $F_{\text{ПРВ}}$ и площадь поперечного сечения $S_{\text{ПРВ}}$ приводного стержня.

Рассмотрим, случай: $i_{\text{ОБЩ}} = 1,0$, $F_{\text{ПРВ}} = 4F$, $S_{\text{ПРВ}} = 4S$, при условии равенства площади последнего рабочего шатуна равной S и сохранении пропорциональности между S и F .

Анализ сил, действующих в *мультипликаторах*, показывает, что значение приведённой силы в их приводе при распределении $i_{\text{ОБЩ}}$ по ступеням передачи может быть вычислено по формуле:

$$F_{\text{ПРВ}} = \{[(F4 \cdot i4 + F3) \cdot i3 + F2] \cdot i2 + F1\} \cdot i1, \quad (1)$$

где: $i1 \neq i2 \neq i3 \neq i4$; $F1 \neq F2 \neq F3 \neq F4$.

Если частные передаточные отношения равны друг другу, то величина приведенной силы в приводе подсчитывается по формуле:

$$F_{\text{ПРВ}} = i^1 \cdot F1 + i^2 \cdot F2 + i^3 \cdot F3 + i^4 \cdot F4, \quad (2)$$

где: $i1 = i2 = i3 = i4 = i_{\text{ЧАСТН}} = i = \text{Const}$; $i_{\text{ЧАСТН}} = \sqrt[N]{i_{\text{ОБЩ}}}$;

$F1 \neq F2 \neq F3 \neq F4$,

N , ед. – число ступеней передачи при равных $i_{\text{ЧАСТН}}$.

В случае, когда в передаче равны и частные передаточные отношения, и силы, приложенные к каждой ступени передачи, величина приведенной силы в приводе *мультипликатора* может быть подсчитана по формуле:

$$F_{\text{ПРВ}} = (i^1 + i^2 + i^3 + i^4) \cdot F, \quad (3)$$

где: $i_1 = i_2 = i_3 = i_4 = i_{\text{ЧАСТН}} = i = \text{Const}; i_{\text{ЧАСТН}} = \sqrt[N]{i_{\text{ОБЩ}}}$;
 $F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = F$.

Значение приведённой силы в приводе 4х ступенчатого **редуктора** и в передачах, подобных КС, вычисляется по формуле:

$$F_{\text{ПРВ}} = \{[(F_{\text{РАБ}} \cdot i_4 + F_4) \cdot i_3 + F_3] \cdot i_2 + F_2\} \cdot i_1 + F_1, \quad (4)$$

где: $F_4 = F - F_{\text{РАБ}}; i_1 \neq i_2 \neq i_3 \neq i_4; F_1 \neq F_2 \neq F_3 \neq F_4 \neq F_4$.

Если частные передаточные отношения равны друг другу, то величина приведенной силы в приводе **редуктора** подсчитывается по формуле:

$$F_{\text{ПРВ}} = F_1 + i^1 \cdot F_2 + i^2 \cdot F_3 + i^3 \cdot F_4 + i^4 \cdot F_{\text{РАБ}}, \quad (5)$$

где: $i = i_1 = i_2 = i_3 = i_4 = i_{\text{ЧАСТН}} = \text{Const}; i_{\text{ЧАСТН}} = \sqrt[N]{i_{\text{ОБЩ}}}$,

$F_1 \neq F_2 \neq F_3 \neq F_4$,

N , ед. – число ступеней передачи при равных $i_{\text{ЧАСТН}}$.

В случае, когда в передаче равны частные передаточные отношения и силы, приложенные к каждой ступени передачи, величина приведенной силы в приводе может быть подсчитана по формуле:

$$F_{\text{ПРВ}} = (1 + i^1 + i^2 + i^3) \cdot F + i^4 \cdot F_{\text{РАБ}}, \quad (6)$$

где: $i = i_1 = i_2 = i_3 = i_4 = i_{\text{ЧАСТН}} = \text{Const}; i_{\text{ЧАСТН}} = \sqrt[N]{i_{\text{ОБЩ}}}$,

$F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = F$.

На рис. 2(а, б) приведены номограммы результатов проведённых расчётов величин двух параметров: $F_{\text{ПРВ}}$ и $S_{\text{ПРВ}}$, при последовательном расположении $i_{\text{ОБЩ}}$ в одной из 4-х ступеней передаточного механизма.

Результаты расчета показали что:

- приведённые силы в приводе каждого конкретного вида передаточного механизма, зависят от того, в какой ступени передачи сосредоточено общее передаточное отношение $i_{\text{ОБЩ}}$ этого механизма;

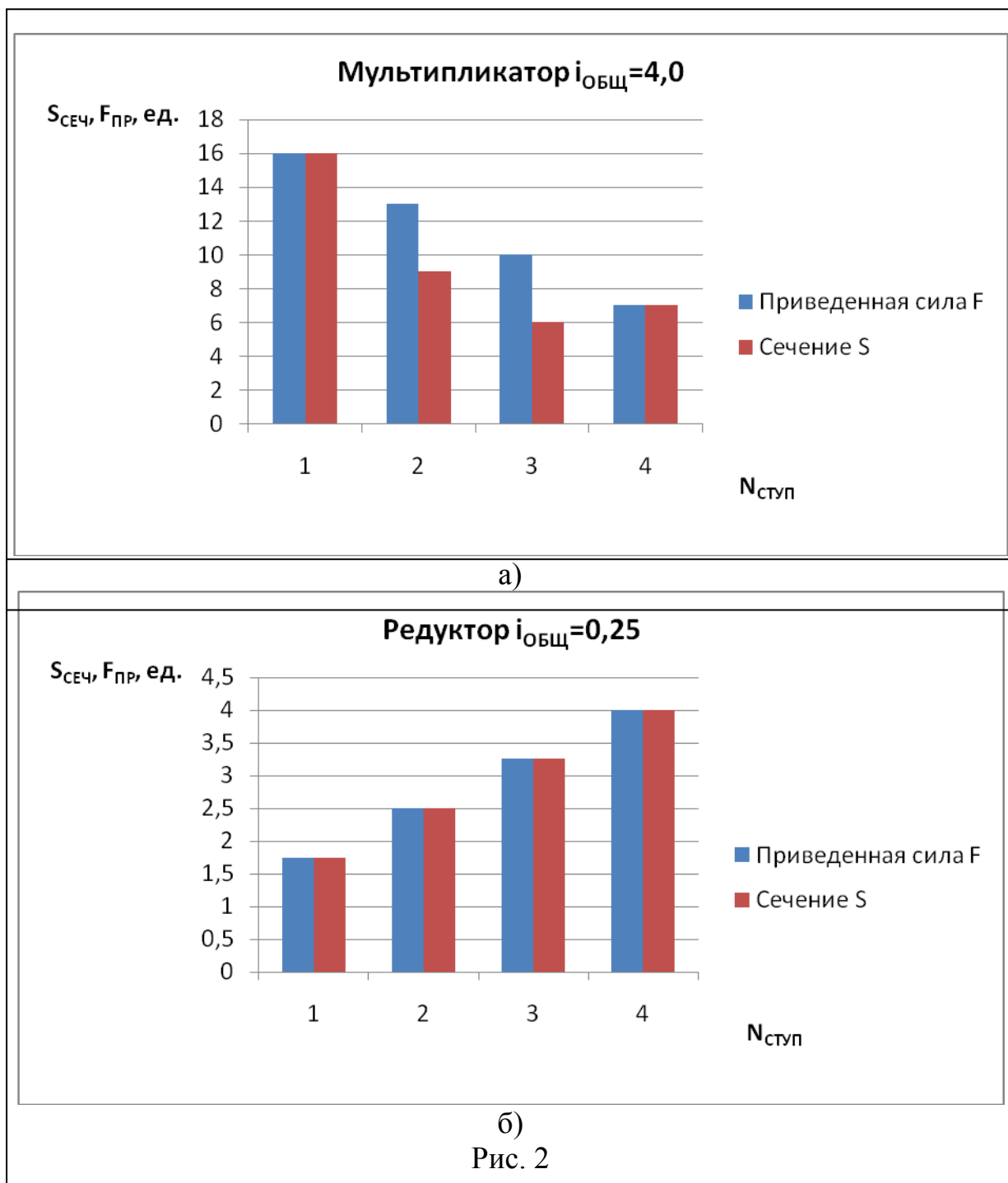
- в редукторе следует располагать передаточное отношение $i_{\text{ОБЩ}}$ в начальных звеньях, при этом приведённая сила $F_{\text{ПРВ}}$ будет минимальна;

- в мультипликаторе следует располагать передаточное отношение $i_{\text{ОБЩ}}$ в конечных звеньях, при этом приведённая сила $F_{\text{ПРВ}}$ будет минимальна;

- изменение нагрузки в приводе передаточного механизма в зависимости от расположения общего передаточного отношения по ступеням передачи выражается линейной функцией;

- в мультипликаторе при переносе редукции от 1-ой ступени к 4-ой, величина приведенной силы в приводе передачи равномерно уменьшается (градиент = $-3,0$ ед. F);

- в редукторе при переносе редукции от 1-ой ступени к 4-ой величина приведенной силы равномерно увеличивается (градиент = $+0,75$ ед. F).



Проведённый расчёт показал, что при равномерном распределении передаточного отношения по всем ступеням многоступенчатой передачи, как в редукторе, так и в мультипликаторе, величина приведённой силы в приводе не будут иметь *минимальных значений* по сравнению с оптимальным расположением $i_{\text{общ}}$ в одной, но соответствующей, ступени передачи.

В *мультипликаторе*, в случае расположении общего передаточного отношения в последней, 4-ой ступени, сила в приводе будет на 12,3%

меньше возможного среднего значения (10,24 ед. против 11,5 ед.) и на 46,3% меньше, чем при равномерном распределении $i_{\text{Общ}}$ по всем ступеням передачи.

Сила в приводе *редуктора* при равномерном распределении передаточного отношения $i_{\text{Частн}}$ по её ступеням будет на 12,3% больше среднего значения (3,25 ед. против 3,14 ед.) и на больше 46,3% по сравнению с варан-том расположения общего передаточного отношения в 1-ой ступени.

На выбор геометрических параметров поперечного сечения приводных звеньев механизма также оказывает влияние характер расположения общего передаточного отношения в одной из ступеней рассмотренных передач.

Рассмотрим влияниераспределение $i_{\text{Общ}}$ в передачах типа мультипликатор и редуктор на величину приводной силы для 3-х видов законов распределения частных передаточных отношений: равномерного, равнопеременного и экспоненциального по ступеням этих передач ($i_{\text{Общ}} = i_{\text{Частн1}} \times i_{\text{Частн2}} \times i_{\text{Частн3}} \times i_{\text{Частн4}} \times \dots \times i_{\text{ЧастнN}}$.)

В соответствии с выявленным эффектом влияния расположения в передаче общего передаточного отношения $i_{\text{Общ}}$, для мультипликатора значение частных передаточных отношений выбрано возрастающим, а для редуктора – убывающим. В таблице 1, при $i_{\text{Общ}}$ для редуктора 0,25, а мультипликатора 4,0, приведены расчётные значения частных передаточных отношений $i_{\text{Частн}}$.

Анализ результатов табл.1показывает, что как при расположении $i_{\text{Общ}}$ в разных ступенях передачи, так и при различных распределениях $i_{\text{Общ}}$, величины приведенной силы и площади поперечного сечения зависят от вида распределения и достигают минимума при экспоненциальном распределении передаточного отношения по ступеням передачи.

В таблице 2 приводятся процентные соотношения относительных величин значений усилий в приводе рычажно-стержневых передач при выбранных видах расположения $i_{\text{Общ}}$, а также видах и значениях распределения $i_{\text{Частн}}$ по ступеням подобных передач.

Для снижения искажения заданного закона движения по ступеням рычажно-стержневой передачи, каждая её ступень должна иметь передаточное отношение, лежащее только в диапазоне $0,25 \leq i_{\text{Частн}} \leq 4,0$. [3]

Таблица 1

№ ступени	Мультипликатор $i_{\text{ОБЩ}} = 4,0$			Редуктор $i_{\text{ОБЩ}} = 0,25$		
	Равномерное распределение $i_{\text{ЧАСТН}}$	Равномерное распределение $i_{\text{ЧАСТН}}$	Экспоненциальное распределение $i_{\text{ЧАСТН}}$	Равномерное распределение $i_{\text{ЧАСТН}}$	Равномерное распределение $i_{\text{ЧАСТН}}$	Экспоненциальное распределение $i_{\text{ЧАСТН}}$
1	1,4142	1,00	1,00	0,7071	1,00	1,00
2	1,4142	1,30	1,25	0,7071	0,82	0,86
3	1,4142	1,61	1,60	0,7071	0,65	0,66
4	1,4142	1,91	2,00	0,7071	0,47	0,44
Сила в приводном стержне	$10,24F$	$8,39F$	$8,25F$	$2,56F$	$2,025F$	$1,98F$
Сечение приводного стержня	$7,24S$	$8,39S$	$8,25S$	$2,56S$	$2,025S$	$1,98S$

Таблица 2

Величины сил в приводе $F_{\text{ПРВ}}, (F)$								
Силы в приводе мультипликатора и редуктора при расположении $i_{\text{ОБЩ}}$ по ступеням передач и при разном распределении $i_{\text{ЧАСТН}}$ по ступеням	По ступеням:				Равномерн.	Равноперемен.	Экспонент.	
	1	2	3	4				
	Мультипликатор							
	$16F$	$13F$	$10F$	$7F$	$10,24F$	$8,39F$	$8,25F$	
	Редуктор							
$1,75F$	$2,5F$	$3,25F$	$4,0F$	$2,56F$	$2,025F$	$1,98F$		
Процентное соотношение сил, (% к минимуму)								
Соотношение силы привода $F_{\text{ПРВД}}$ в % к величине силы $F_{\text{ПРВ}}$ при $i_{\text{ОБЩ}}$ в 4-вой ступени мультипликатора, и/или в 1-ой редуктора	По ступеням:				Равномерн.	Равноперемен.	Экспонент.	
	1	2	3	4				
	Мультипликатор							
	228,6	185,7	142,9	100,0	146,3	120,0	118,0	
	Редуктор							
100,0	142,9	185,7	228,6	146,3	115,7	113,2		

Для **минимизации** усилия в приводе 4-х ступенчатой передачи и максимальном $i_{\text{ЧАСТН}} = 4,0$ (мультипликатор), или равного 0,25 (редуктор), между частными и общим передаточными отношениями могут быть установлены следующие соотношения:

- для мультипликатора: $2,0 \times 2,5 \times 3,2 \times 4,0 = i_{\text{ОБЩ}} = 64,0$;

- для редуктора: $0,25 \times 0,3125 \times 0,4 \times 0,5 = i_{\text{ОБЩ}} = 0,015625 = 1/64,0$, причём, показатель экспоненциального закона распределения частных передаточных отношений $i_{\text{ЧАСТН}}$, может варьироваться с целью достижения максимального значения общего, либо приемлемых значений частных.

Выводы:

1. Равномерное распределение общего передаточного отношения по всем ступеням механической передачи не обеспечивает минимизации приведённой силы в приводе механизма.

2. Наименьшая величина приведенной силы в приводе передачи будет при экспоненциальном законе распределения, а также при сосредоточении $i_{\text{ОБЩ}}$ в одной из ступеней в зависимости от вида передачи.

3. В мультипликаторах частные передаточные отношения $i_{\text{ЧАСТН}}$ отдельных, последовательно-расположенных ступеней передачи должны экспоненциально увеличиваться, а в редукторах - экспоненциально уменьшаться.

Список литературы

1. **Мальшев А.П., Смирнов А.И., Воробьев П.А.** Основы проектирования ткацких станков. – М., Гизлегпром, 1946 г.

2. **Артоболевский И.И.** Теория механизмов и машин. – М., Наука, 1975 г.

3. **Макаров В.А., Хозина Е.Н., Гаврилов А.Н.** Использование четырехзвенников в качестве элементов рычажно-стержневой трансмиссии зевобразующих механизмов ткацких машин. – Журнал Известие ВУЗов. Технология текстильной промышленности. №3, 2012 г.