

## СРАВНЕНИЕ ПЛАНЕТАРНЫХ РЕДУКТОРОВ С РАЗЛИЧНЫМ ЧИСЛОМ САТЕЛЛИТОВ

Тукмаков В.П.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, г.  
Самара, tukmakov.vp@ssau.ru

*Ключевые слова:* передача Джеймса, программа расчёта, передаточное отношение, число сателлитов, число зубьев

Достоинствами планетарных передач являются широкие кинематические возможности, компактность и малая масса. В планетарной передаче мощность передаётся по нескольким потокам, число которых равно числу сателлитов. Наибольшее распространение получила планетарная передача с одновенцовым сателлитом – передача Джеймса (рис. 1).

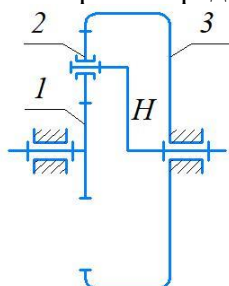


Рис. 1 – Схема планетарной передачи

Её применяют при передаточном отношении  $u_{1H} = 3 \dots 8$ , КПД при этом  $0,92 \dots 0,97$ . Для передачи Джеймса число сателлитов  $a_n = 3 \dots 8$ . Число сателлитов зависит от передаточного отношения. Максимальное число сателлитов из условий сборки  $a_n = 8$  возможно при  $u_{1H} = 3$ . До  $u_{1H} = 3,66$  – максимально  $a_n = 6$ , до  $u_{1H} = 4,30$  – максимально  $a_n = 5$ , до  $u_{1H} = 5,69$  – максимально  $a_n = 4$ , при  $u_{1H} \geq 5,69$  число сателлитов только  $a_n = 3$ .

Для передачи Джеймса разработана программа расчёта, которая определяет несколько вариантов сочетания чисел зубьев колёс для заданного передаточного отношения с учётом допуска, программа проверяет условия соосности, соседства и сборки.

Выигрыш в размерах у планетарного редуктора происходит и благодаря применению нескольких сателлитов, так как при этом уменьшается нагрузка на каждый зуб и можно принять меньший модуль колёс. Поэтому для силовых передач число сателлитов надо выбирать возможно большим. Рассмотрим передачу Джеймса при  $u_{1H} = 3,8; 4,0$  и  $4,2$ , в этом диапазоне  $a_n = 3, 4$  и  $5$ . Возможное сочетание чисел зубьев приведено в табл. 1.

Табл. 1 – Варианты сочетания чисел зубьев

$u$	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$a_n$
3,8	19	17	53	3, 4
3,8	21	19	59	4, 5
4,0	18	18	54	3, 4
4,0	20	20	60	4, 5
4,2	18	20	58	4
4,2	19	21	61	4, 5

Из табл. 1 видно, что максимальное число сателлитов получается не при минимальном числе зубьев. Габариты передачи зависят от чисел зубьев, модуля и ширины зубчатых колёс. Модуль и ширину зубчатых колёс определим из расчёта передачи на прочность [1]. Рассмотрим передачу Джеймса при  $u_{1H} = 4$  и  $a_n = 3, 4$  и  $5$ . При  $u_{1H} = 4$  число зубьев солнечного колеса 1 и сателлита 2 одинаково (рис. 1). Возможное сочетание чисел зубьев приведено в табл. 2.

Табл. 2 – Варианты сочетания чисел зубьев колёс

$z_1$	$z_2$	$z_3$	$a_n$
18	18	54	3, 4
20	20	60	4, 5
30	30	90	3, 4, 5

В работе выполнено семь вариантов расчётов при  $z_1 = 18, 20, 30$  с разным числом сателлитов, определены диаметры зубчатых колёс  $d$ , ширина зубчатых колёс  $b_w$  и модуль  $m$ . Результаты расчётов показаны в табл. 3. Анализ результатов расчётов показывает, что для  $z_1 = 18, 20$  при увеличении числа сателлитов модуль уменьшается и соответственно уменьшается диаметр колёс. При  $z_1 = 30$  модуль получается меньше минимального, поэтому принято  $m_{\min} = 2,5$  мм для цементированных колёс. Тогда размеры колёс будут одинаковые, и при увеличении числа сателлитов уменьшается ширина зубчатого венца.

Табл. 3 – Результаты расчёта на прочность передачи с заданным числом зубьев

$z_1$	$a_n$	$d_1$	$\psi_{bd}$	$b_w$	$m$	$d_3$
18	3	81	0,45	36,5	4,5	243
18	4	72	0,50	36,0	4,0	216
20	4	70	0,54	37,5	3,5	210
20	5	60	0,72	43,5	3,0	180
30	3	75	0,66	49,5	2,5	225
30	4	75	0,50	38,0	2,5	225
30	5	75	0,41	31,5	2,5	225

При выполнении расчёта по методике [1] условие прочности сошлось для трёх вариантов  $\psi_{bd}$  при  $a_n = 5$  и  $m = 2,5$  мм. Результаты расчёта приведены в табл. 4. Анализ результатов расчётов показывает, что при увеличении ширины зубчатого венца диаметры колёс уменьшаются.

Табл. 4 – Результаты расчёта на прочность

$\psi_{bd}$	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$b_w$	$d_1$	$d_3$
0,41	30	30	90	31	75	225
0,50	28	27	82	35	70	205
0,60	25	25	75	40	62,5	187,5

При увеличении числа сателлитов, скорее всего, стоимость изделия увеличивается, а масса уменьшается. Для сравнения массовых характеристик возьмём вариант с  $z_1 = 18$  и  $a_n = 3,4$ . Планетарная ступень показана на рис. 2.

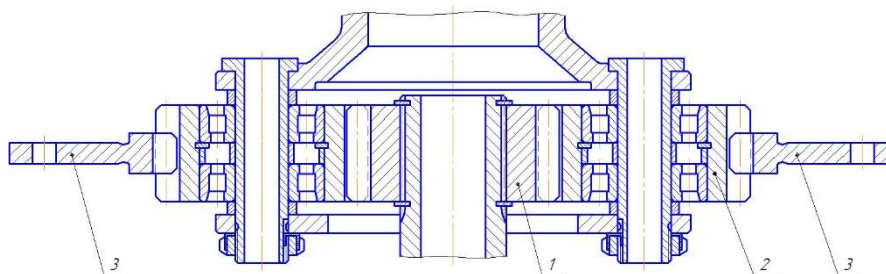


Рис. 2 – Планетарная ступень

Созданы 3-D модели зубчатых колёс и других деталей, определена масса каждой детали, масса подшипников взята из каталога. Определена общая масса без учёта входного и выходного валов. Сравнение показало, что планетарная ступень с  $a_n = 4$  легче на 7 % планетарной ступени с  $a_n = 3$ .

Разработанные программы расчёта позволяют провести оптимизацию конструкции по габаритам, запасу прочности и плавности зацепления. Оптимизацию конструкции редуктора по массовым характеристикам можно выполнить с помощью 3D-модели редуктора.

### Список литературы

1. Расчёт на прочность планетарной передачи: метод. указания к курс. проекту/ Е.П. Жильников, В.П. Тукмаков. – Самара: Самар. ун-т, 2017. – 28 с.

Сведения об авторе

Тукмаков Владимир Петрович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры основ конструирования машин. Область научных интересов: теория механизмов и машин, детали машин, триботехника.

## COMPARISON OF PLANETARY REDUCER WITH DIFFERENT NUMBERS OF SATELLITES

Tukmakov V.P.

Samara National Research University, Samara, Russia, tukmakov.vp@ssau.ru

*Keywords: James transmission, calculation program, gear ratio, number of satellites, number of teeth.*

The programs of the calculation model of the planetary transmission, comparison of planetary transmissions with a different number of satellites is performed.