

УДК 621.9.06:519.876

Д.А. РУДИКОВ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ КОРОБОК ПЕРЕДАЧ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Предложены методики проектного и уточняющего кинематических расчетов, позволяющие путем минимизации затрат средств и времени определить передаточное отношение и числа зубьев постоянной пары, удовлетворяющие требованиям точности ряда металлорежущих станков.

Ключевые слова: кинематический расчет, множительная часть, погрешность реализации ряда, постоянная пара.

Введение. Отраслевой стандарт ОСТ 2 Н11-1-72 "Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел" [1], который был введен в середине 30-х годов прошлого столетия как первый норматив станкостроения (в 50-е годы ему был придан статус отраслевого стандарта), вводит некоторые ограничения и является дополнением ГОСТ 8032-56 (новая редакция издана в 1984 году) «Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел» [2]. Этот стандарт устанавливает предпочтительные числа и их ряды, которые должны применяться при установлении величин и градаций параметров и размеров, а также отдельных числовых характеристик станкостроения, чтобы обеспечить точность привода металлорежущих станков. В пункте 3 указанного отраслевого стандарта приводится:

«Для выбора чисел оборотов и подач металлорежущих станков рекомендуется применять ряды: R5 ($\varphi=1,60$); R10 ($\varphi=1,25$); R20/3 ($\varphi=1,40$).

Числа оборотов ряда не должны отклоняться от табличных значений более чем на $\pm 10 (\varphi-1)\%$.

В приводе от асинхронного электродвигателя ввиду непостоянства коэффициента скольжения допускается смещение ряда чисел оборотов в сторону уменьшения до 5% от чисел ряда, подсчитанных по синхронному числу оборотов электродвигателя».

Постановка задачи. Отраслевой стандарт 2Н11-1-72 жестко ограничивает экстремальные значения относительной погрешности ряда, игнорируя остальные ее значения. Указанная особенность определяет последовательность действий по достижению требуемой стандартом точности:

- за счет подбора чисел зубьев в множительных группах обеспечить минимальное поле рассеивания погрешности множительной части;
- за счет подбора передаточного отношения постоянной пары расположить его в рамках допускаемых стандартом отклонений.

В зависимости от достигнутой величины поля рассеивания множительной части и степени неопределенности остальных составляющих погрешности (электродвигателя, постоянных звеньев и т.д.) возможны два подхода:

1) при близких величинах полей рассеивания множительной части и допуска, а также значительной неопределенности остальных составляющих совместить середины полей, т.е. достижение среднего отклонения погрешности привода, близкого к нулю;

2) при высокой точности подобранных комбинаций чисел зубьев (поле рассеивания погрешности привода укладывается в половину поля допуска) и минимальной погрешности неварьируемых компонентов привода имеет смысл совместить верхние границы полей рассеивания погрешности привода и допуска с тем, чтобы оставшаяся нижняя часть использовалась при нагружении привода.

Первый подход может использоваться в ходе проектного расчета при отсутствии близкого прототипа и данных о частотах электродвигателя на холостом ходу. Второй – при уточняющем, модернизационном расчете, когда эти данные имеются.

Проектный кинематический расчет удобнее использовать, когда у проектировщика нет данных о частоте вращения ротора электродвигателя на холостом ходу для проектируемого привода металлорежущего станка. Последовательность расчета в этом случае будет следующей:

1. Подбор комбинаций чисел зубьев по таблицам множительных групп [3] и методике, описанной в них. Общее поле рассеивания погрешности множительной части не должно превышать половины допуска C_d :

$$C = W_{\max} - W_{\min} \leq C_d.$$

2. Определение общей погрешности суммированием погрешностей передаточных отношений множительной части и округления предпочтительных чисел, выявление ступеней с экстремальными отклонениями.

3. Определение частоты на входе множительной части, обеспечивающей симметричные отклонения общей погрешности:

$$f_{\text{ex}}^O = \frac{2 \cdot f_{\text{ex}}^B \cdot f_{\text{ex}}^H}{f_{\text{ex}}^B + f_{\text{ex}}^H}; \quad f_{\text{ex}}^B = \frac{h^B}{i_F^B}; \quad f_{\text{ex}}^H = \frac{h^H}{i_F^H},$$

где, f_{ex}^O - уточненная частота вращения на входе множительной части; $f_{\text{ex}}^B, f_{\text{ex}}^H$ - индивидуальные частоты на входе множительной части для ступеней с экстремальными отклонениями; h^B, h^H - предпочтительные числа на ступенях с экстремальными отклонениями общей погрешности; i_F^B, i_F^H - общие передаточные отношения множительной части, выраженные через числа зубьев пар, участвующих в передаче движения на ступенях с экстремальными отклонениями.

4. Определение передаточного отношения и чисел зубьев постоянной пары:

$$i_C = \frac{f_{\text{ex}}^O}{f_{\text{ex}}^c} = \frac{z_1}{z_2}; \quad z_2 = \frac{z_1}{i_C},$$

где i_C - передаточное отношение постоянной пары; f_{ex}^c - частота вращения ротора электродвигателя для ступеней с экстремальными отклонениями; z_1 - число зубьев ведущей шестерни; z_2 - число зубьев ведомой шестерни.

При варьировании z_1 вычисляется z_2 и оценивается отбрасываемая или добавляемая при округлении доля зуба. Принимаются те варианты, в которых она не превышает 0,1.

Допускается передаточное отношение постоянного звена при проектировании рассчитывать так, чтобы при частоте вращения ротора электродвигателя, соответствующей 25-35% скольжения при номинальной нагрузке и 25-35% от предельного значения скольжения в каждой ременной передаче обеспечивалось симметричное распределение поля рассеивания между отклонениями. После изготовления и испытания опытного образца станка передаточное отношение и числа зубьев должны быть уточнены с учетом измеренной частоты вращения ротора электродвигателя на всех ступенях привода.

5. Составление уравнений кинематического баланса, определение частот на выходе и погрешности реализуемого ряда, сравнение с нормативом и вывод о соответствии требованиям стандарта.

Уточняющий кинематический расчет. Использование уточняющего расчета оказывается возможным в том случае, если обеспечено минимальное поле рассеивания погрешности множительной части привода (коробки передач) и имеются достоверные данные о частоте электродвигателя

на холостом ходу для всех ступеней, полученные точными измерениями. В этом случае определение передаточного отношения и чисел зубьев постоянной передачи из условия совмещения средин полей рассеивания, допускаемого по отраслевому стандарту и фактического, теряет смысл, так как верхняя часть поля допуска не используется, а нижняя оказывается нарушенной за счет 5-процентного снижения частоты вращения ротора электродвигателя при полной (номинальной) нагрузке. Это разрешено отраслевым стандартом, но ведет к неоправданным потерям в производительности. При модернизации привода главного движения консольно-фрезерного станка мод. 6Р82 за счет подбора новой комбинации чисел зубьев для первой группы (с минимальным отличием от заводского варианта) было достигнуто существенное уменьшение поля рассеивания погрешности (менее половины допускаемого), но постоянная пара была рассчитана из условия совмещения средин полей допуска и фактического. В результате была обеспечена почти полная симметричность отклонений (+1,13% и -1,21%) (табл.1), но верхняя часть поля допуска (2,6-1,13=1,47%) не была использована, а нижняя могла далеко (на 3,5%) уйти за нижнюю границу допуска.

Если бы постоянная пара была рассчитана из условия совмещения наибольшего фактического отклонения с верхней границей допуска, то возможный выход за нижнюю границу был бы сокращен до 2,1%. При этом на холостом ходу все отклонения размещались бы в верхней половине поля допуска, а так как со 100%-ной загрузкой станки работают чрезвычайно редко, то фактические отклонения нагруженности практически всегда находились бы в поле допуска.

Последовательность действий при кинематическом расчете при совмещении максимальных значений фактической погрешности с верхней границей поля допуска.

1. По таблицам [3] подбираются комбинации чисел зубьев с минимальной погрешностью, составляются матрицы чисел зубьев и погрешности передаточных отношений, затем выписывается или рассчитывается погрешность округления использованной выборки из ряда предпочтительных чисел.

2. Суммированием или по уравнениям кинематического баланса определяются общая погрешность фактического ряда и ступени с экстремальными отклонениями погрешности.

3. Выходная частота на ступени с максимальной погрешностью увеличивается настолько, чтобы ее погрешность достигла допускаемого максимального значения.

4. Полученные значения выходной частоты делятся на общее передаточное отношение для данной ступени, и определяется желаемое значение частоты на входе множительной части (коробки передач).

Для рассматриваемого привода консольно-фрезерного станка мод. 6Р82 максимальная погрешность имела место на 17-й ступени со стандартным значением частоты 1250 мин^{-1} , при увеличении ее на 2,6% получим: $1250 \cdot 1,026 = 1282,5 \text{ мин}^{-1}$.

Частота на входе множительной части привода и передаточное отношение постоянной пары:

$$f_{\text{вх}} = \frac{1282,5 \cdot 36 \cdot 25 \cdot 39}{20 \cdot 39 \cdot 80} = 721,406 \text{ мин}^{-1}; i_c = \frac{f_{\text{вх}}}{f_{\text{дв}}} = \frac{721,406}{1493,32} = 0,4831.$$

Задаваясь для z_1 любым целым числом, определяют значение для z_2 по формуле $z_2 = z_1 / i_c$ и оценивается доля зуба, отбрасываемая или добавляемая при округлении.

z_1	25	26	27	28	29	30	31
z_2	57,75	53,82	55,89	57,96	60,03	62,10	67,17

Из расчета видно, что среди полученных значений наиболее подходящие пары чисел зубьев 28/58 и 29/60, у которых добавляемая или отбрасываемая часть не превышает 0,04 доли зуба.

5. Полученные числа зубьев постоянной пары подставляются в уравнения кинематического баланса для ступеней с экстремальными отклонениями, и определяются новые фактические частоты и их погрешность. В таблице приводятся выборки для экстремальных ступеней комбинированного баланса погрешности модернизированного привода с новыми постоянными парами.

Комбинированный баланс погрешности модернизированного привода

№ ступени	Частота двигателя	Числа зубьев шестерен								Частота вращения, мин ⁻¹		
		Группы								стандартная	геометри-ческая	расчетная
<i>k</i>	<i>N_{дв}</i>	<i>1</i>		<i>3_I</i>		<i>3₃</i>		<i>2₉</i>		<i>h_k</i>	<i>g_k</i>	<i>g_R</i>
С симметричным отклонением погрешности												
4	1499,16	20	42	17	39	28	36	18	70	63	63,0957	62,2364
17	1493,32			20	36	39	25	80	39	1250	1258,925	1264,190
С совмещением по тах отклонениям и постоянной парой 28/58												
4	1499,16	28	58	17	39	28	36	18	70	63	63,0957	63,0948
17	1493,32	28	58	20	36	39	25	80	39	1250	1258,925	1281,628
С совмещением по тах отклонениям и постоянной парой 29/60												
4	1499,16	29	60	17	39	28	36	18	70	63	63,0957	63,1699
17	1493,32	29	60	20	36	39	25	80	39	1250	1258,925	1283,153

№ ступени	Относительная погрешность, %						
	округления предпочтительного числа	Группы			постоянной составляющей	общая	
						суммировани-ем	по уравнениям кинематического баланса
<i>k</i>	<i>W_{ок}</i>	<i>W_{1j}</i>	<i>W_{2j}</i>	<i>W_{3j}</i>	<i>W_{рк}</i>	<i>W_{ск}</i>	<i>W_{БК}</i>
С симметричным отклонением погрешности							
4	0,1517	0,0000	-0,3813	0,0000	-0,9845	-1,2140	-1,2103
17	0,7090	1,2379	0,1405	0,4271	-1,3701	1,1444	1,1272
						Поле	2,3375
С совмещением по тах отклонениям и постоянной парой 28/58							
4	0,1517	0,0000	-0,3813	0,0000	0,3813	0,1517	0,1502
17	0,7090	1,2379	0,1405	0,4271	-0,0097	2,5048	2,5123
						Поле	2,3621
С совмещением по тах отклонениям и постоянной парой 29/60							
4	0,1517	0,0000	-0,3813	0,0000	0,5008	0,2712	0,2693
17	0,7090	1,2379	0,1405	0,4271	0,1093	2,6238	2,6335
						Поле	2,3642

Анализ баланса (см. табл.) показывает, что поле рассеивания погрешности сохранило свою величину, наибольшие отклонения достигли допустимого максимума, а нижняя (большая) половина поля допуска остается для погрешности, обусловленной снижением частоты электродвигателя под нагрузкой.

Выводы. 1. При проектном кинематическом расчете наиболее быстрым путем можно определить передаточное отношение и числа зубьев постоянной пары, обеспечивающей равенство экстремальных отклонений по абсолютной величине, что гарантирует выполнение норматива отраслевого стандарта по точности ряда.

2. При уточняющем кинематическом расчете появляется возможность более эффективно использовать поле рассеивания погрешности, допускаемое отраслевым стандартом, что обеспечивает выполнение его норматива при резании со средними нагрузками и снижает до минимума потери в производительности при полной нагрузке.

Библиографический список

1. ОСТ 2 Н11-1-72. Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел.
2. ГОСТ 8032-84. Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел.
3. Заверняев Б.Г. Таблицы универсальные для подбора чисел зубьев в коробках передач и рекомендации по их использованию: учеб. пособие. / Б.Г. Заверняев, Э.В. Курис. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 1993.

Материал поступил в редакцию 15.02.2010.

D.A. RUDIKOV

IMPROVEMENT OF KINEMATIC CALCULATIONS OF METAL-CUTTING MACHINES TRANSMISSIONS

The design and specifying kinematic calculations techniques allowing to define the ratio and teeth numbers of the constant pair that meet the accuracy requirements of some metal-cutting machines by cost and time minimization are offered.

Key words: kinematic calculation, multiplying part, a number realization error, constant pair.

РУДИКОВ Дмитрий Алексеевич (р.1979), старший преподаватель кафедры «Технологическое оборудование» ДГТУ, кандидат технических наук (2006). Окончил Донской государственный технический университет (2002).

Научные интересы: причины возникновения и процессы образования погрешности в множительной структуре металлорежущих станков.

Имеет более 40 печатных работ.

d-studio@mail.ru