

УДК 621.914.5

UDC 621.914.5

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ  
КОМПЛЕКТОВ СМЕННЫХ ЗУБЧАТЫХ  
КОЛЕС ДЛЯ ГИТАР МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ  
СТАНКОВ**

**ESTIMATION OF EFFICIENCY OF USE OF  
ALTERNATIVE COMPLETE SETS OF  
REPLACEABLE COGWHEELS FOR BRACKET  
IN METAL-CUTTING MACHINE TOOLS**

Федосеенко Валентин Олегович  
ассистент  
*КубГТУ, Краснодар*  
Адрес: 350049, г. Краснодар, ул. Гагарина, д. 250  
корп. А, кв. 13.  
E-mail: [vofedoseenko@gmail.com](mailto:vofedoseenko@gmail.com)

Fedoseenko Valentine Olegovich  
assistant  
*KubSTU*  
Address: 350049, Krasnodar, Gagarina st., 250A, 13.  
E-mail: [vofedoseenko@gmail.com](mailto:vofedoseenko@gmail.com)

В статье изучены два разных комплекта сменных зубчатых колес гитары металлорежущих станков. Один поставляется вместе со станком 5К32, другой получен на основе работы автора. Образцы, изготовленные с помощью этих комплектов, проверяются на координатно-измерительной машине. Приведены графики измерений и сравнительные таблицы

There are two different complete sets of replaceable gears bracket of metal-cutting machine tools in the article. One is delivered together with the 5K32 machine tool, another is received on the basis of work of the author. The samples made of these complete sets, are checked by the plate-measuring machine. Diagram of measurements and comparative tables are presented

Ключевые слова: ЗУБЧАТЫЕ КОЛЕСА,  
ЗУБОФРЕЗЕРОВАНИЕ, ГИТАРА  
ДИФФЕРЕНЦИАЛА, ПОГРЕШНОСТЬ  
НАСТРОЙКИ, КИНЕМАТИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ

Keywords: GEARS, HOBGING, CHANGE GEAR  
BRACKET, TUNING ERROR, KINEMATIC CHAIN

Результатом работы металлорежущего станка является образование поверхностей детали с заданными формой, размерами, точностью и шероховатостью. Для этого необходимо обеспечить требуемые условия кинематического согласования перемещений исполнительных органов между собой в системе координат и источником движения. Этот процесс называется кинематической настройкой станка.

В большинстве металлорежущих станков с механическими связями для настройки кинематических цепей применяются органы кинематической настройки в виде гитар сменных зубчатых колес, ременных передач, вариаторов, регулируемых электродвигателей. Среди которых, гитара сменных зубчатых колес обладает наиболее подходящей точностью крутящего момента и большим количеством возможных передаточных отношений.

Гитары сменных зубчатых колес используются в металлорежущих станках для нарезания резьбы, спиралей и зубчатых колес. Задача по настройке гитары сводится к определению сменных шестерен. Наибольшую сложность представляет наладка зубофрезерных станков, где необходимо производить настройку гитары деления, подач и дифференциала. Выбор метода определения чисел зубьев сменных колес зависит от формулы, по которой получают передаточное отношение гитары. Если в формуле гитар деления и подачи имеются целые числа и соответственно подбираются простым методом разложения на множители, то гитара дифференциала требует более сложных методов подбора, обусловленных числом  $\pi$ , а так же тригонометрическими функциями в формуле наладки.

Погрешность наладки гитар может вызвать несогласованное движение исполнительных органов и нарушение правильности заданной траектории перемещение инструмента относительно заготовки, что приводит к искажению формы обрабатываемой поверхности. Поэтому задачей при настройке станков такой конструкции является точный расчет его наладочных данных. Для этого используют специальные таблицы, справочники.

С применением вычислительной техники ситуация кардинально изменилась. Появилась возможность подбирать наиболее точные комбинации шестерен гитары методом простого перебора. В основной комплект, можно добавить новые шестерни, которые не входят в стандартный ряд. Дополняя или сокращая ряд, мы остаемся уверены, что эти шестерни будут задействованы в расчетах. С появлением такого подхода встает вопрос об оптимальности комплектов поставляемых

изготовителями станков, ведь основные знания о нормальных рядах формировались в 60-е года, когда еще не было должного вычислительного обеспечения. Поэтому наряду с грамотно выбранным методом подбора зубчатых колес не маловажную роль играет, то какие шестерни входят в комплект к станочному оборудованию.

В статье [1] упоминалось, что увеличение количества сменных зубчатых колес в комплекте приводит к значительному уменьшению погрешности наладки. В выводе статьи указывается, что увеличение комплекта сменных шестерен с 35 до 42 уменьшает среднюю погрешность в 1.7 раза, а наибольшую погрешность наладки уменьшает в 1.5 раза. Это происходит вследствие того, что количество уникальных передаточных отношений увеличивается на 100 000. Это указывает на то, что увеличение количества сменных шестерен уменьшает погрешность наладки. Ключевую роль играет не то, сколько шестерен в наборе, а то, сколько зубьев у каждой из них. Грамотный выбор шестерен может значительно сократить их количество в комплекте.

Оценить насколько один комплект лучше другого очень сложно. Например, один комплект содержит 60 сменных зубчатых колес, но большинство из них будут повторяться, другой - 30 и при этом все шестерни различные. В таком случае может оказаться, что комплект из 30-и шестерен будет наиболее предпочтительным, так как с помощью него получено большее количество уникальных передаточных отношений. Но и количество передаточных отношений нельзя принимать в качестве критерия оценки комплекта шестерен, важную роль будет играть то, какие передаточные отношения будут получены.

Эти вопросы были изучены в статьях [2, 3] в результате чего были получена методика по определению оптимального комплекта сменных зубчатых колес. По этой методике получен комплект с таким же количеством сменных шестерен, что и у стандартного комплекта станка 5К32. Различия между этими двумя комплектами можно увидеть в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнение комплектов сменных шестерен.

№ п. п.	Предложенный комплект	Стандартный комплект	№ п. п.	Предложенный комплект	Стандартный комплект	№ п. п.	Предложенный комплект	Стандартный комплект
1	22		18	51		35	79	79
2	23		19	53	53	36		80
3		24	20		55	37	82	
4	25	25(2	21		58	38	83	83
5	27		22	59	59	39	85	85
6	29		23		60	40	87	
7		30	24	61	61	41	89	89
8	31		25		62	42	90	90
9	34		26	65	65	43		92
10		35	27	67	67	44	91	
11	37	37	28		70	45	95	95
12		40	29	71	71	46	96	
13		41	30	73	73	47	97	
14	43	43	31		75	48	98	98
15		45	32	76		49	99	
16	47	47	33	77		50	100	100
17		50	34	78				

Цель данной работы: практически доказать эффективность использования альтернативного комплекта сменных зубчатых колес. Для этого проведем практическое испытание на станке 5К32.

Произвольным образом выберем нарезаемую на станке шестерню. Параметры шестерни указаны в таблице 2.

Таблица 2 - Параметры нарезаемой шестерни.

Параметр	Значение
Модуль, $m$ , мм	4.5
Угол наклона винтовой линии зубьев, $\beta$ , °	18° 52'
Направление винтовой линии зубьев	правое
Число зубьев зубчатого колеса, $z$	17
Диаметр делительный $d$ , мм	80.84
Диаметр вершин $d_a$ , мм	89.84
Длина общей нормали $W$ , мм	34.47
Постоянная хорда, мм	6.242
Высота до постоянной хорды, мм	3.364

Используя инструкцию по наладке станка 5К32, рассчитываем необходимое передаточное отношение гитары дифференциала,  $i_{\text{диф}}$  [4]:

$$i_{\text{диф}} = \frac{25 \cdot \sin b}{p m k},$$

где  $k$  – число заходов фрезы. Для данного эксперимента была выбрана чистовая фреза с  $k = 1$ .

Подставив численные значения в формулу, получим:

$$i_{\text{диф}} = \frac{25 \cdot \sin(18^\circ 52')}{p \cdot 4.5 \cdot 1} = 0.571838322712.$$

Первоначально производим настройку гитары дифференциала станка на основе предложенного комплекта сменных зубчатых колес, а выбор сменных шестерен осуществляется с помощью компьютерной программы [7,8].

$$i'_{\text{диф}} = \frac{51 \cdot 43}{59 \cdot 65} = 0.571838331160$$

После того как полностью была изготовлена шестерня, устанавливаем новую заготовку совпадающую по размерам с предыдущей и производим замену гитары дифференциала, которую подбираем по

методике Петрика и Шишкова [6] с использованием стандартного ряда чисел зубьев.

$$i''_{\text{ошф}} = \frac{53 \cdot 60}{67 \cdot 83} = 0.571839597194 .$$

Вычислим абсолютную погрешность:

$$d' = |0.571838331160 - 0.571838322712| = 8.44 \cdot 10^{-9} ,$$

$$d'' = |0.571839597194 - 0.571838322712| = 1.27 \cdot 10^{-6} .$$

Исходя из полученных значений погрешности наладки, делаем вывод, что настройка с использованием комплекта предложенного в данной работе будет, точнее.

Изготовление зубчатых колес выполнено на станке 5К32. Шестерню, изготовленную по наладочным данным, подготовленным с помощью данной работы, маркируем под номером 1, шестерню, выполненную в соответствии со стандартной процедурой расчета наладки станка, маркируется под номером 2. Обработанные шестерни изображены на рис. 1.



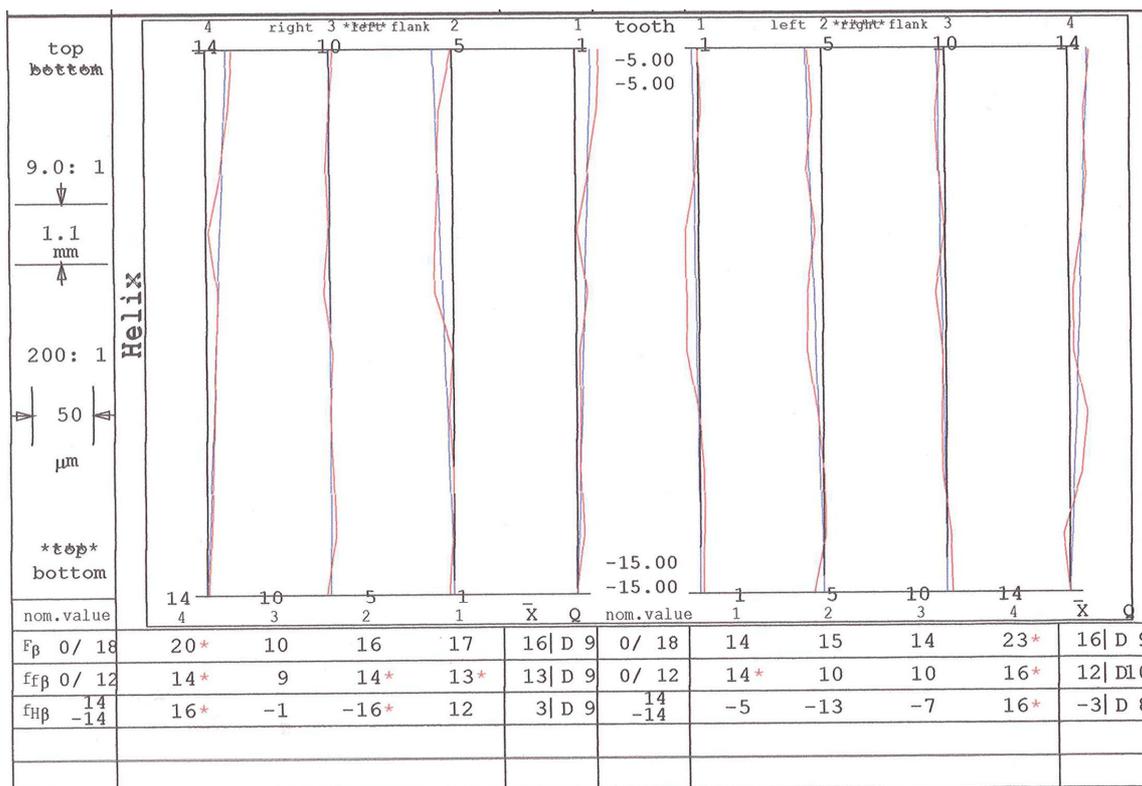
Рисунок 1. Шестерни, изготовленные во время эксперимента.

После проведенного эксперимента производилось измерение основных параметров зубчатых колес.

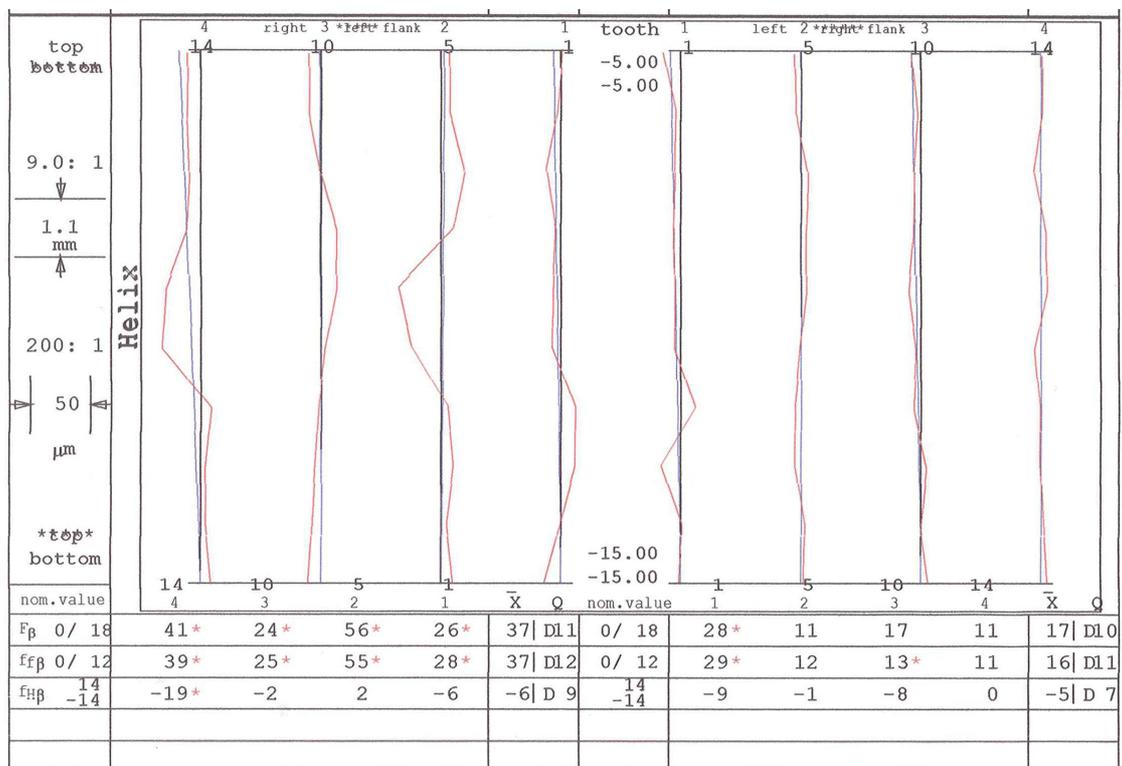
Проверка изготовленных шестерен выполнялась в метрологическом отделе ОАО "Майкопского редуторного завода". Замеры выполнялись на координатно-измерительной машине (КИМ) Leitz PMM-G с использованием программного обеспечения QUINDOS Gears разработанного фирмой Messtechnik Wetzlar GmbH.

Значение степени точности для каждого параметра задаются согласно стандарта AGMA 2015-1-A01. В соответствие с этим стандартом степень точности представляется в виде буквенно-цифрового кода. Например, в обозначение D8, буква обозначает идентификатор источника параметра точности, а цифра – это целое значение, которое обозначает степень точности. Идентификатор источника берется из ANSI/AGMA 2015-1-A01. Идентификатор Q используется, если значения берутся из стандартов AGMA 2000-A88 и 390.03. Если буква отсутствует, то значения берутся из стандартов AGMA 390.01 или AGMA 390.02.

На рис. 2а и 2б представлены данные о направлении винтовой линии зубьев (Helix). Эти измерения вызывают особый интерес, так как цепь дифференциала непосредственно влияет на формирование винтовой линии зубьев [5]. Измерения показаны отдельно для правого (Right Flank) и левого (Left Flank) торца, измерения проводятся для четырех зубьев: 1, 5, 10, 14. По оси абсцисс откладывается смещение винтовой линии от номинального значения, по оси ординат – расстояние от соответствующего торца. Цена деления по оси абсцисс и ординат указана слева от графиков (для ординат это 1.1 мм, для абсцисс – 50  $\mu\text{m}$  (мкм)). Замеры погрешности выполнялись на расстоянии от 5.0 до 15.0 мм относительно соответствующего торца, полученные значения отображаются в виде красной линии, синяя линия характеризует среднее значение, относительно которой колеблются отклонения.



а)



б)

Рисунок 2. График результата измерения винтовой линии зуба: а) для шестерни № 1; б) для шестерни № 2.

По результатам измерения программа определяет: погрешность направления зуба,  $f_{nb}$ , полную погрешность направления зуба,  $F_b$  и погрешность продольной формы зуба,  $f_{fb}$ . Результаты вычислений для каждого зуба представлены в таблице, ниже графиков. Полученное значение сравнивается с номинальным, и если это значение не удовлетворяет заданным пределам, то оно помечается звездочкой (\*).

Для каждого зуба определяется среднее значение исследуемых параметров, на основе чего присваивается та степень точности, которой соответствует зубчатое колесо. Исходя из этих трех параметров профиля зуба, определяется наибольшая степень точности, которой соответствует шестерни. В таблице 3 для сравнения показаны значения основных параметров винтовой линии зуба. В числителе указаны значения для шестерни №1 в знаменателе для шестерни №2.

Таблица 3 - Результаты измерения основных параметров винтовой линии зуба.

Параметр	Правый торец		Левый торец	
	Среднее значение, мкм	Степень точности	Среднее значение, мкм	Степень точности
Погрешность направления зуба, $f_{nb}$	3	D9	-3	D8
	-6	D9	-5	D7
Полная погрешность направления зуба, $F_b$	16	D9	16	D9
	37	D11	17	D10
Погрешность продольной формы зуба	13	D9	12	D10
	37	D12	16	D11

Учитывая, что в качестве результирующей степени точности берется самая наихудшая, получаем у шестерни №1 степень точности D9 для правого торца, D10 для левого торца; у шестерни №2 степень точности D12 для правого торца, D11 для левого торца. Отсюда делаем вывод, что

по показателям погрешности винтовой линии зубьев шестерня №1 изготовлена точнее шестерни №2. Следовательно, гитара дифференциала настроенная с помощью стандартного комплекта привела к большей погрешности, нежели с помощью комплекта предложенного в работах [2, 3].

#### Список использованной литературы:

1. Федосеенко В.О.- Влияние числа сменных зубчатых колес на погрешность наладки зубофрезерного станка.// СТИН.-2010.-№12.
2. Fedoseenko V. O.- Determining the Optimal Set of Replaceable Gears in Kinematic Chains.// Russian Engineering Research, 2012, Vol. 32, No. 2, pp. 135–137.
3. Федосеенко В. О.- Программный метод определения оптимального комплекта сменных зубчатых колес кинематических цепей.//Вестник Машиностроения. –2012.–№2 С. 27–29.
4. Универсальные зубофрезерные станки 5К324, 5К32. Руководство. – М.:Станкоимпорт.
5. Производство зубчатых колес: Справочник / С. Н. Калашников, А. С. Калашников, Г. И. Коган и др.; Под общ. ред. Б. А. Тайца.– 3-е. изд., перераб. и допол.– М.:Машиностроение, 1990.–464 с.: ил.
6. Петрик М. И., Шишков В.А. Таблицы для подбора зубчатых колес. Изд. 3-е. М., «Машиностроение», 1973, с. 528.
7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012315142.
8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012615145.

#### References

1. Fedoseenko V.O.- Vliianie chisla smenny`kh zubchaty`kh koles na pogreshnost` naladki zubofrezernogo stanka.// STIN.-2010.-№12.
2. Fedoseenko V. O.- Determining the Optimal Set of Replaceable Gears in Kinematic Chains.// Russian Engineering Research, 2012, Vol. 32, No. 2, pp. 135-137.
3. Fedoseenko V. O.- Programmny`i` metod opredeleniia optimal`nogo kompleksa smenny`kh zubchaty`kh koles kinematiicheskikh tcepei` .//Vestneyk Mashinostroeniia. -2012.-№2 С. 27-29.
4. Universal`ny`e zubofrezerny`e stanki 5K324, 5K32. Rukovodstvo. -M.:Stankoimport.
5. Proizvodstvo zubchaty`kh koles: Spravochnik / S. N. Kalashnikov, A. S. Kalashnikov, G. I. Kogan i dr.; Pod obshch. red. B. A. Tai`tca.- 3-e. izd., pererab. i dopol.- M.:Mashinostroenie, 1990.-464 s.: il.
6. Petrik M. I., Shishkov V.A. Tablitsy` dlia podbora zubchaty`kh koles. Izd. 3-e. M., "Mashinostroenie", 1973, s. 528.
7. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registracii programmy dlya EVM №2012315142.
8. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registracii programmy dlya EVM №2012615145.