

НАСТРОЙКА ДВУХПАРНЫХ ГИТАР СТАНКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

Предметом статьи является описание способа комплектования наборов сменных зубчатых колёс двухпарных гитар с переменными межосевыми расстояниями металлообрабатывающих станков различных типов. Целью работы является обоснование возможности обеспечения повышения качества (вариативности и точности) и уменьшение времени настройки станочных двухпарных гитар с переменными межосевыми расстояниями и получение технического эффекта – увеличение количества реализуемых набором сменных зубчатых колёс передаточных отношений при сохранении (либо уменьшении) количества сменных зубчатых колёс в наборе гитары. Описывается решение основных задач – разработка способа комплектования наборов сменных зубчатых колёс гитар и создание программного средства с удобной интерфейсом, обеспечивающего оперативное выполнение настройки двухпарных гитар станков с учётом основных кинематических, конструктивных и габаритно-массовых ограничений. При решении задач использованы аналитические методы и методы машинного эксперимента. С использованием предложенного способа комплектования наборов сменных зубчатых колёс и разработанного программного средства усовершенствовано семь известных наборов, приведённых в справочной литературе и научно-производственных журналах. Область применения предлагаемых решений – станкостроительная отрасль машиностроения. В выводах статьи отмечено, что имеется реальная возможность обеспечения повышения качества (вариативности и точности) и уменьшение времени настройки станочных двухпарных гитар с переменными межосевыми расстояниями: сравнение характеристик шести известных и шести новых укомплектованных предлагаемым способом наборов сменных зубчатых колёс двухпарных гитар подтверждает существенное повышение интегральных показателей качества (ИПК) новых наборов (в среднем для всех наборов: ИПК1 примерно в 2,8 раза и ИПК2 примерно в 2,9 раза). Расчёты подтверждают также возможность сокращения количества колёс в наборах по сравнению с известными (при сохранении характеристик известных наборов): в наборах с 30-ю и 50-ю колёсами – на 6 и 7 колёс соответственно, в наборах с 26-ю, 27-ю и 36-ю колёсами – на 3, 2 и 3 колеса соответственно. По сравнению с наиболее эффективным существующим способом предлагаемый способ комплектования двухпарной гитары станка сменными зубчатыми колёсами обеспечивает требуемый технический результат – увеличение количества реализуемых набором сменных зубчатых колёс передаточных отношений при сохранении количества сменных зубчатых колёс в наборе гитары (в наборе из 26 колёс – примерно на 238%, в наборе из 27 колёс – на 235%, в наборе из 36 колёс – на 50%).

Ключевые слова: гитара станка, набор сменных зубчатых колёс, способ комплектования набора.

Обеспечение заданных режимов резания при обработке различных материалов на станках осуществляется с использованием специальных устройств – станочных гитар. Наиболее часто применяют двухпарные станочные гитары со сменными зубчатыми колёсами. Расширенными техническими характеристиками обладают двухпарные станочные гитары с переменными межосевыми расстояниями (рис.1), используемые во внутренних кинематических цепях станков различного назначения (токарных, зубофрезерных, зубодолбежных и др.). Упомянутые характеристики зависят, в первую очередь, от характеристик наборов сменных зубчатых колёс, прилагаемых к гитаре.

Характеристиками набора сменных зубчатых колёс гитар являются: количество сменных зубчатых колёс в наборе (комплекте) гитары; числа зубьев каждого из колёс набора гитары; количе-

ство реализуемых при помощи набора колёс передаточных отношений; обеспечиваемая точность настройки гитары, определяемая отклонением

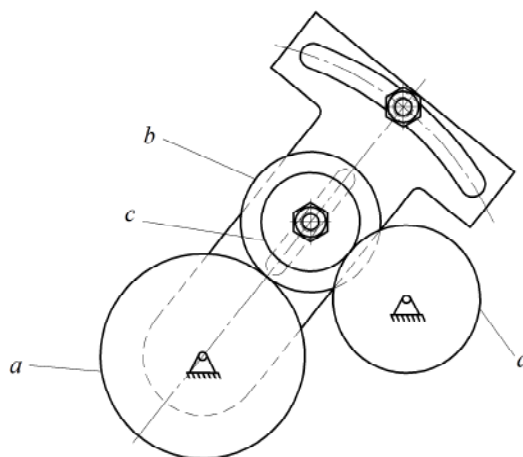


Рисунок. Схема гитары из двух пар сменных колес с двумя переменными межосевыми расстояниями: a, b, c, d – сменные колеса (сочетание a и b – пара I, сочетание c и d – пара II)

реализуемого сменными зубчатыми колёсами набора гитары передаточного отношения от требуемого технологическим процессом изготовления на станке конкретного изделия.

Характеристики гитар могут быть представлены интегральными показателями качества набора сменных зубчатых колёс гитары, которыми являются отношение общего количества реализуемых передаточных отношений к количеству зубчатых колёс набора гитары (ИПК1) и отношение общего количества реализуемых передаточных отношений к величине интервала значений реализуемых передаточных отношений (ИПК2).

Все перечисленные выше характеристик в большинстве случаев определяются способом комплектования наборов сменных зубчатых колёс.

Широко известны способы комплектования наборов сменных зубчатых колёс двухпарных станочных гитар с переменными межосевыми расстояниями, предусматривающий выбор либо «минимальных» комплектов сменных колёс с определёнными числами зубьев в зависимости от области применения [1], либо «нормальных» комплектов сменных зубчатых колёс с определёнными числами зубьев в зависимости от групп станков [2]. Согласно проведённому анализу, комплектуемые указанным способом наборы в большинстве случаев имеют завышенное количество сменных колёс и пониженные значения интегральных показателей качества.

Автором [3] предлагается способ комплектования наборов сменных зубчатых колёс двухпарных станочных гитар с переменными межосевыми расстояниями колёсами, числа зубьев которых назначаются по условиям обеспечения заданных значений передаточных отношений. Однако качество комплектуемых таким образом наборов повышается в ограниченной области диапазона реализуемых передаточных отношений, а именно – в области назначенного значения передаточного отношения, требуемого для изготовления конкретных изделий на конкретных станках.

Распространён также способ комплектования наборов сменных зубчатых колёс двухпарных станочных гитар с переменными межосевыми расстояниями колёсами, числа зубьев которых назначаются по условиям образования

ряда чисел: включают колёса, числа зубьев которых образуют ряд возрастающих чисел с регулярным шагом в пять зубьев, и несколько дополнительных колёс – «пятковый» набор; включают колёса, числа зубьев которых образуют ряд возрастающих чисел, кратных двум, и несколько дополнительных колёс – «чётный» набор, либо образуют ряд возрастающих чётных и нечётных чисел – «смешанный» набор [4]. Указанный способ кажется нам наиболее эффективным, но также не лишён недостатков – не определяет условия выбора чисел зубьев дополнительных колёс, а комплектуемые этим способом наборы имеют пониженные значения интегральных показателей качества.

К недостатком описанных ранее способов можно отнести также высокую трудоёмкость определения требуемых для наборов зубчатых колёс в связи с необходимостью проведения анализа большого количества сочетаний упомянутых колёс для реализации требуемых значений передаточных отношений гитары.

Целью настоящей работы является обоснование возможности обеспечения повышения качества (вариативности и точности) и уменьшение времени настройки станочных двухпарных гитар с переменными межосевыми расстояниями. Технический эффект реализации цели – увеличение количества реализуемых набором сменных зубчатых колёс передаточных отношений при сохранении (либо уменьшении) количества сменных зубчатых колёс в наборе гитары

Основные задачи – разработка способа комплектования наборов сменных зубчатых колёс гитар и создание программного средства с удобным интерфейсом, обеспечивающего оперативное выполнение настройки двухпарных гитар станков с учётом основных кинематических, конструктивных и габаритно-массовых ограничений.

Решению основных задач способствовали результаты ряда ранее выполненных работ [5]–[9], на основе которых предложен способ комплектования набора сменных зубчатых колёс двухпарной гитары станка с переменными межосевыми расстояниями, отличающийся от известного способа [4] тем, что числа зубьев сменных зубчатых колёс набора гитары назначаются из ряда влияния, построенного по степени участия каждого из колёс в формировании мас-

сива реализуемых гитарой уникальных передаточных отношений.

Предлагаемый способ совершенствования известных наборов предусматривает выполнение ряда последовательных операций: 1) назначение количества K сменных зубчатых колёс в наборе гитары (по известному набору); 2) назначение ряда возможных значений чисел зубьев колёс гитары, причём в качестве границ ряда используют минимальное и максимальное значения чисел зубьев колёс известного набора с количеством колёс, равным K ; 3) назначение условия кинематических ограничений на значение передаточного отношения U для одной пары зубчатых колёс с числами зубьев из заданного интервала: $U_{\min} \leq U \leq U_{\max}$, где U_{\min} и U_{\max} – минимальное и максимальное значения по известным нормативам; 4) назначение условия конструктивных ограничений (известное условие сцепляемости колёс для сочетания чисел зубьев четырёх колёс «а», «b», «с» и «d» гитары: $a+b=c+(15\dots25)$; $c+d=b+(15\dots25)$, где: «а» и «b» – числа зубьев колёс первой пары колёс гитары, а «с» и «d» – числа зубьев колёс второй пары колёс гитары); 5) назначение условия обеспечения минимальных радиальных габаритов комплекта колёс гитары: $M=a+(b+c)/2+d$, где M – минимальное значение для возможных сочетаний чисел зубьев колёс, дающих одинаковые значения передаточных отношений; 6) определение полного массива значений передаточных отношений (всех возможных значений, включая повторяющиеся) гитары с набором из всех возможных колёс при соблюдении условий кинематических и конструктивных ограничений; 7) исключение из полного массива повторяющихся значений передаточных отношений (для каждого из значений), кроме одного из них, определяемого сочетанием чисел зубьев колёс, удовлетворяющим условию обеспечения минимальных радиальных габаритов M комплекта колёс гитары; 8) формирование рабочего массива уникальных значений передаточных отношений гитары без повторяющихся значений в порядке возрастания значения передаточного отношения и с сохранением соответствующего ему сочетания значений чисел зубьев колёс; 9) определение с использованием рабочего массива для каждого колеса набора количества передаточных отношений, в реализации которых данное колесо участвует, и построение ряда чисел зубьев колёс (ряда влияния) по степени

участия их в формировании массива уникальных значений передаточных отношений (в порядке убывания количества передаточных отношений, в реализации которых участвует колесо); 10) выбор из ряда влияния участка с количеством элементов (значений чисел зубьев), равным количеству « K » колёс в наборе гитары, начиная с первого элемента ряда влияния; 11) определение характеристик полученного набора сменных зубчатых колёс двухпарной гитары станка.

Реализация способа показана на примере совершенствования набора, описанного автором [3] и состоящего из 50 колёс (числа зубьев колёс: 44; 45; 48; 50; 52; 54; 56; 60; 64; 65; 66; 67; 70; 71; 72; 73; 78; 79; 80; 81; 83; 84; 89; 90; 94; 97; 100; 102; 104; 105; 106; 108; 110; 111; 112; 114; 115; 116; 118; 119; 120; 122; 123; 124; 125; 126; 128; 129; 130; 132) и позволяющего реализовать 628479 уникальных значений передаточных отношений в интервале от 0,1154 до 7,8909 при значениях интегральных показателей качества $ИПК1=12569,6$ и $ИПК2=80828,1$. Расчёт произведён при ограничениях: кинематические – $0,2 \leq U \leq 2,828$; конструктивные – $a+b=c+15$; $c+d=b+15$; габаритные – $M=a+(b+c)/2+d=\min$.

В целях сокращения текста далее использованы номера операций согласно ранее приведённой последовательности: 1) $K=50$ (как в известном наборе); 2) ряд чисел зубьев 44...132; 3) $0,2 \leq U \leq 2,828$ (как в известном наборе); 4) $a+b=c+15$, $c+d=b+15$ (как в известном наборе); 5) $a+(b+c)/2+d=M$ (как в известном наборе); 6), 7) и 8) – расчёты с использованием [10]; 9) получен ряд влияния: **97; 101; 89; 103; 83; 107; 79; 109; 113; 73; 71; 67; 127; 131; 47; 53; 121; 111; 86; 82; 61; 49; 46; 118; 59; 119; 91; 122; 123; 93; 125; 129; 116; 74; 68; 44; 58; 45; 95; 106; 94; 115; 114; 62; 112; 52; 51; 117; 57; 77; 50; 85; 124; 128; 110; 87; 69; 81; 48; 76; 65; 92; 66; 88; 98; 70; 130; 54; 99; 63; 64; 55; 126; 104; 56; 90; 132; 102; 75; 105; 80; 78; 100; 108; 96; 72; 120; 84; 60** (для справки: первое колесо ряда с числом зубьев 97 участвует в определении 335771 значения передаточного отношения, последнее колесо ряда с числом зубьев 60 участвует в определении 52896 значений передаточного отношения); 10) участок с $K=50$: 97; 101; 89; 103; 83; 107; 79; 109; 113; 73; 71; 67; 127; 131; 47; 53; 121; 111; 86; 82; 61; 49; 46; 118; 59; 119; 91; 122; 123; 93; 125; 129; 116; 74; 68; 44; 58; 45; 95; 106; 94; 115; 114; 62; 112; 52;

51; 117; 57; 77 (выделен в ряду влияния жирно и подчеркнут); 11) характеристики набора: реализуемое количество уникальных значений передаточных отношений – 1182595 в интервале значений от 0,1172 до 7,9145; интегральные показатели качества набора: ИПК1=23651,9; ИПК2=151667,2 (увеличены практически в два раза по сравнению с известным набором).

В связи с большой трудоёмкостью производимых в процессе комплектования наборов расчётов последние осуществлены с использо-

ванием разработанного авторами специального программного средства [10] и ПЭВМ. Для повышения скорости выполнения расчётов были использованы приём распараллеливания и бинарное дерево хранения решений. Сложность алгоритма по общепринятой классификации составляет в среднем $O(n^4 \log n)$, в худшем случае $O(n^5)$. Схема алгоритма поиска решений представлена на рисунке 2. Форма ввода начального набора и его параметров представлена на рисунке 3. Ввод значений чисел зубьев колёс набора может быть

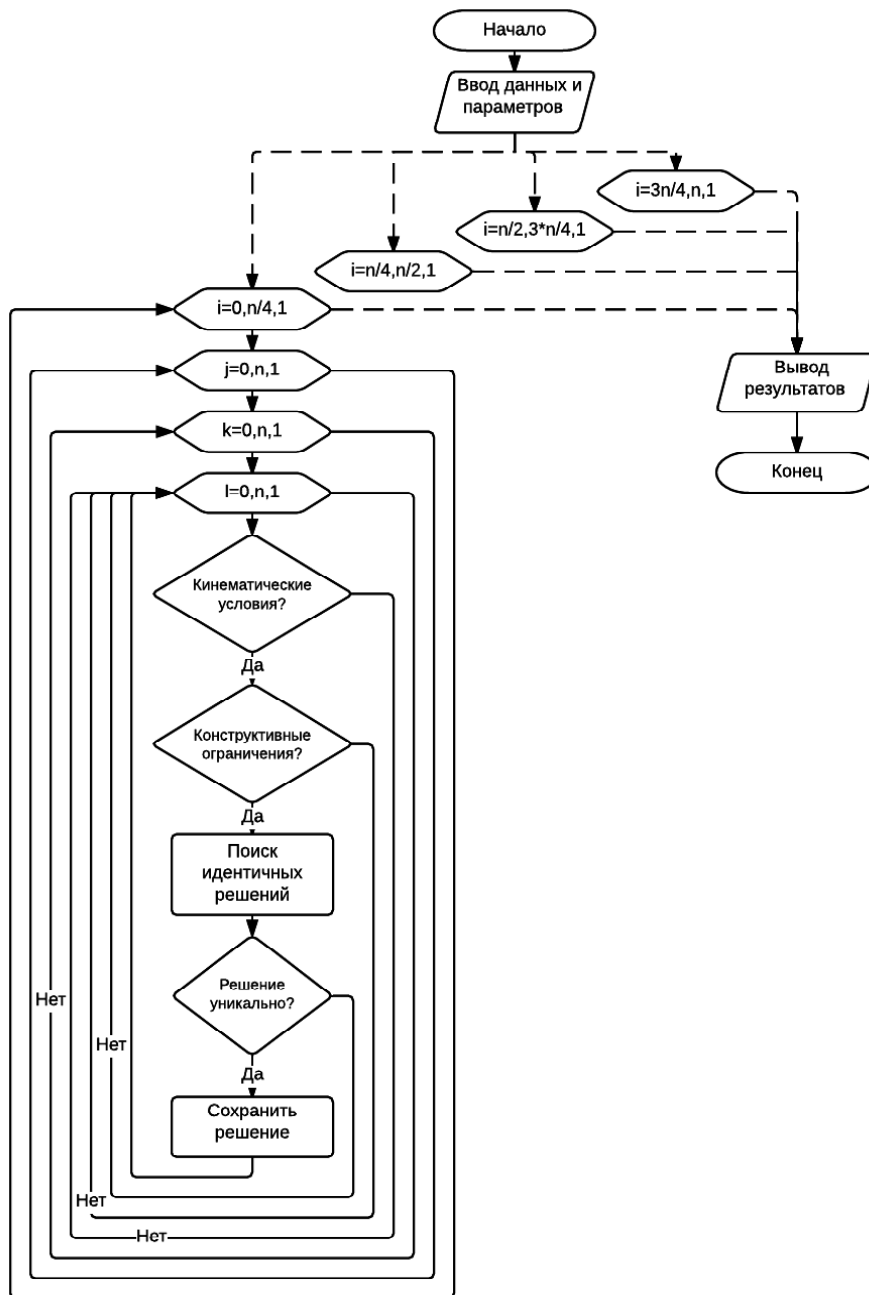


Рисунок 2. Схема алгоритма поиска решений

произведен как с клавиатуры, так и копированием ряда чисел зубьев из текстового файла. После нажатия кнопки «Поиск» процесс расчёта отражается цветowymi линейками в нижней части формы. После завершения расчёта (длительность не более 5 минут) под цветowymi линейками появляется общее количество (массив) возможных значений передаточных отношений и границы массива – минимальное U_{min} и максимальное U_{max} значения передаточных отношений. В правой части окна производится ввод данных по условиям конструктивных и кинематических ограничений (с

учётом назначения гитары – для цепи подач либо для цепи главного движения).

По умолчанию расчёт ведётся для гитары цепи подач, переход на расчёт гитары цепи главного движения происходит при нажатии кнопки «Рекомендации для цепей главного движения». В полученном массиве значений передаточных отношений может быть найдено требуемое значение по настройке гитары (ввод в соответствующее окно и нажатие кнопки «Поиск в найденном»). В случае отсутствия требуемого значения программа предлагает пользователю

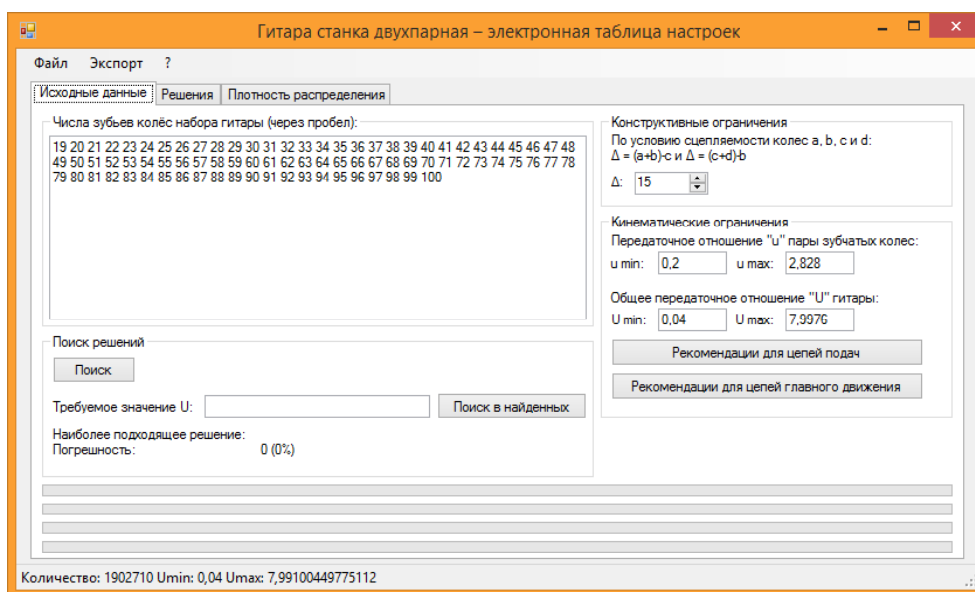


Рисунок 3. Форма ввода начального набора и его параметров

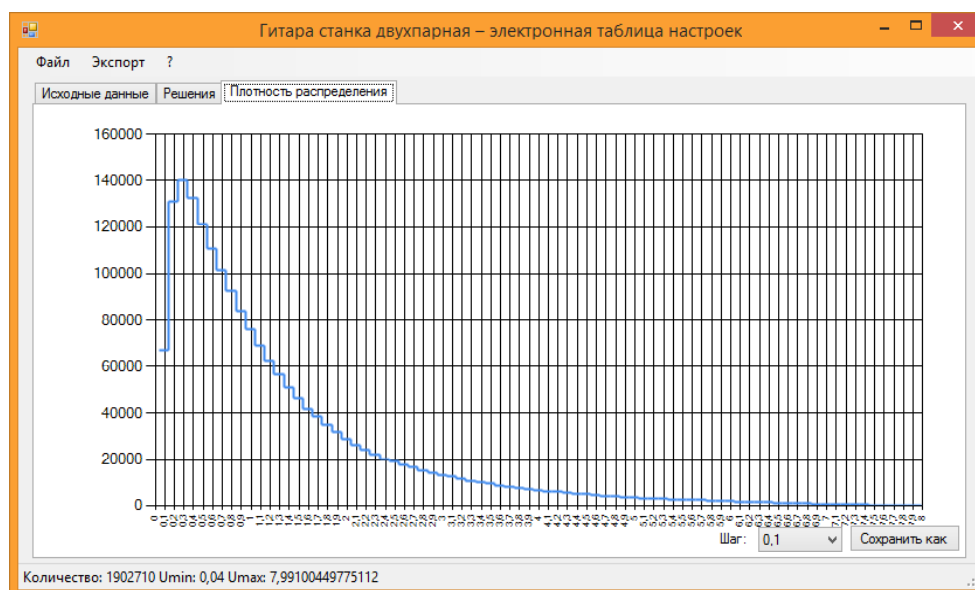


Рисунок 4. Кривая плотности распределения передаточных отношений

ближайшее возможное с указанием погрешности выбора.

При нажатии кнопки «Решения» в окне отражаются в виде таблицы все найденные значения передаточных отношений и значения чисел зубьев колёс, сочетание которых обеспечивает получение значения передаточного отношения. При использовании кнопки «Файл» можно сохранить вариант расчёта (в случае перерыва в работе пользователя). При использовании кнопки «Экспорт» результаты расчётов сохраняют-

ся в виде электронных таблиц MS Excel. При этом можно сохранить как массив возможных значений передаточных отношений гитары, так и полученный автоматически ряд влияния для рассчитываемого набора зубчатых колёс гитары. Для оценки плотности распределения значений передаточных отношений в конкретных интервалах (которые могут задаваться пользователем) используется графическое отображение (рис. 4) плотности распределения, которое отображается в форме после нажатия кнопки «Плотность

Таблица. 1 Наборы сменных зубчатых колёс гитар

Количество колёс в наборе гитары	Набор	Числа зубьев колёс набора	Количество и интервал реализуемых гитарой уникальных значений передаточных отношений	ИПК1	ИПК2
1	2	3	4	5	6
Наборы-аналоги (исходные и усовершенствованные предлагаемым способом)					
36 («минимальный» комплект для цепей повышенной точности [1])	И	23 25 30 33 34 35 37 40 41 43 45 47 50 53 55 58 59 60 61 62 65 67 70 71 73 75 79 80 83 85 89 92 95 97 98 100	262660 (0,0587 ... 7,9130)	7296,1	33441,6
	II	23 29 31 34 37 38 41 42 43 44 47 49 53 59 61 62 65 67 71 73 74 77 79 80 81 82 83 85 86 87 89 91 93 94 95 97	291008 (0,0724...7,9910)	8083,6	36749,9
30 («нормальный» комплект для токарных станков [2])	И	20 24 25 28 30 32 36 40 44 45 48 50 55 60 65 68 70 71 72 75 76 80 85 90 95 100 110 113 120 127	27952 (0,0400 ... 7,9728)	931,7	3523,6
	II	41 43 47 49 53 59 61 67 71 73 74 76 77 79 83 86 89 97 101 102 103 106 107 109 113 115 119 121 125 127	158548 (0,1111...7,8928)	5284,9	20374,5
50 (по условию обеспечения заданного значения передаточного отношения [3])	И	44 45 48 50 52 54 56 60 64 65 66 67 70 71 72 73 78 79 80 81 83 84 89 90 94 97 100 102 104 105 106 108 110 111 112 114 115 116 118 119 120 122 123 124 125 126 128 129 130 132	628479 (0,1154...7,8909)	12569,6	80828,1
	II	44 45 46 47 49 51 52 53 57 58 59 61 62 67 68 71 73 74 77 79 82 83 86 89 91 93 94 95 97 101 103 106 107 109 111 112 113 114 115 116 117 118 119 121 122 123 125 127 129 131	1182595 (0,1172...7,9145)	23651,9	151667,2

1	2	3	4	5	6
Наборы, укомплектованные по способу [4] и по предлагаемому способу					
26 («пятковкий» набор)	И	20 25 30 35 40 45 47 50 55 60 63 65 70 75 80 85 90 95 97 100 105 110 115 120 127 152	26487 (0,0417 ... 7,9022)	1018,7	3369,6
	П	53 59 67 71 73 79 83 86 87 89 97 101 103 107 109 113 119 121 122 123 127 131 137 139 149 151	89626 (0,1390...7,1951)	3447,2	12701,9
27 («четный» набор)	И	20 20 24 28 32 36 40 44 47 48 52 56 60 63 64 68 72 76 80 84 88 92 96 97 100 127 157	31409 (0,0408 ... 7,7877)	1163,3	4054,4
	П	53 59 67 71 73 79 83 89 91 97 101 103 107 109 113 121 122 123 125 127 129 131 137 139 149 151 157	105086 (0,1319...7,4810)	3892,1	14299,2
36 («смешанный» набор)	И	20 23 25 30 33 34 35 37 40 41 43 47 50 53 55 59 60 61 62 65 67 70 71 73 75 80 83 89 90 92 95 97 98 100 120 127	224473 (0,0417 ... 7,9130)	6235,4	28517,9
	П	41 43 47 49 53 59 61 67 71 73 74 75 76 77 79 82 83 85 86 89 91 95 97 101 102 103 104 106 107 109 113 115 119 121 125 127	336057 (0,1111...7,8928)	9334,9	43185,6

В таблице обозначено: И – известные наборы; П – наборы, укомплектованные по предлагаемому способу

распределения». Интервалы определения плотности могут быть заданы значениями (0,01; 0,1; 0,5 и 1,0). Чем больше значение плотности распределения, тем выше точность выбора требуемого значения передаточного отношения и настройки гитары. Как правило, большая точность достигается для меньших значений передаточных отношений.

Интерфейс программы и простота работы с ней не требуют высокой квалификации пользователя, программа легка в освоении и обеспечивает высокие точность и производительность настройки различных гитар.

С использованием данной программы предлагаемым способом усовершенствованы шесть известных наборов сменных зубчатых колёс гитар различного назначения. Результаты представлены в итоговой таблице, где характеристики наборов, укомплектованных по предлагаемому способу выделены жирным шрифтом.

Выводы

Подтверждена возможность обеспечения повышения качества (вариативности и точности) и уменьшение времени настройки станочных двухпарных гитар с переменными межосевыми расстояниями.

Сравнение характеристик шести известных и шести новых укомплектованных предлагаемым способом наборов сменных зубчатых колёс двухпарных гитар подтверждает существенное повышение интегральных показателей качества новых наборов (в среднем для всех наборов: ИПК1 примерно в 2,8 раза и ИПК2 примерно в 2,9 раза). Расчёты подтверждают также возможность сокращения количества колёс в наборах по сравнению с известными (при сохранении характеристик известных наборов): в наборах с 30-ю и 50-ю колёсами – на 6 и 7 колёс соответственно, в наборах с 26-ю, 27-ю и 36-ю колёсами – на 3, 2 и 3 колеса соответственно.

По сравнению со способом [4] предлагаемый способ комплектования двухпарной гитары станка сменными зубчатыми колёсами обеспечивает требуемый технический результат – увеличение количества реализуемых набором сменных

зубчатых колёс передаточных отношений при сохранении количества сменных зубчатых колёс в наборе гитары (в наборе из 26 колёс – примерно на 238%, в наборе из 27 колёс – на 235%, в наборе из 36 колёс – на 50%).

20.02.2015

Список литературы:

1. Петрик, М.И. Таблицы для подбора зубчатых колёс/ М.И. Петрик, М.И. В.А.Шишков. – Изд.3-е. – М.: Машиностроение, 1973. – 528 с.
2. Чернов, Н.Н. Металлорежущие станки. – М.: Машиностроение, 1988. – 416 с.
3. Вереина, Л.И. Зависимость точности кинематической настройки станков от состава набора сменных зубчатых колёс // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2013. – №10. – С.15-19.
4. Ванин, В.А. Основы станковедения. Лаб. работы / сост.: В.А. Ванин, В.Х. Фидаров, В.К. Лучкин. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос.техн.ун-та, 2004. – 40 с.
5. Муллабаев, А.А. О способах построения коробок передач станков / А.А. Муллабаев, В.Н.Романцов, А.П. Фот // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2009. – №5. – С.184-190.
6. Муллабаев, А.А. О способах модернизации гитар металлорежущих станков / А.А.Муллабаев, А.П.Фот, В.И. Чепасов, Н.В. Журнаджан, В.Н. Романцов // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2013. – № 1. – С. 196-201.
7. Св.-во гос. рег. прогр. для ЭВМ №2013611082, Российская Федерация. «Программа по вычислению настроек двухпарных гитар станков» / В.И.Чепасов (RU), А.П.Фот (RU), А.А.Муллабаев (RU).– №2012660906; дата поступления 10.12.2012; дата регистр. в Реестре программ для ЭВМ 09.01.2013 г. – Оpubл.2013 г., Эл.бюл.№ 1
8. Св.-во гос. рег. прогр. для ЭВМ №2013612135, Российская Федерация. «Программа по вычислению настроек трёхпарных гитар станков» / В.И.Чепасов (RU), А.П.Фот (RU), А.А.Муллабаев (RU).– №2012661235; дата поступления 17.12.2012; дата регистр. в Реестре программ для ЭВМ 14.02.2013 г. – Оpubл.2013 г., Эл.бюл.№ 1.
9. Патент RU №2523374 С1, МПК7 В23Q 5/12. Гитара станка и способ настройки гитары / А.П. Фот, А.А.Муллабаев, В.И.Чепасов, И.И. Лисицкий, В.Н.Романцов, Н.В.Журнаджан, Э.А.Журнаджан (РФ). – № 2012157378. – Заявлено 25.12.2012 г. – Решение о выдаче патента от 03.04.2014 г. – Оpubл.27.06.2014 г., Бюл. № 18.
10. Св.-во гос. рег. прогр. для ЭВМ № 2015611785, Российская Федерация. Программа «Гитара станка двухпарная – электронная таблица настроек» / А.П.Фот (RU), А.В.Мочалин (RU); правообладатель – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет».– № 20146622785; дата поступления 11.12.2014 г.; дата регистр. в Реестре программ для ЭВМ 06.02.2015 г. – Оpubл. 20.03.2015 г. – http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet (дата обращения 25.03.2015 г.).

Сведения об авторах:

Фот Андрей Петрович, главный ученый секретарь Оренбургского государственного университета, доктор технических наук, профессор

Мочалин Александр Владимирович, студент Оренбургского государственного университета

460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, тел. (3532) 375989, e-mail: fot@mail.osu.ru