

**ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ /
TECHNOLOGY AND EQUIPMENT FOR MECHANICAL AND PHYSICAL-TECHNICAL PROCESSING**

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.12>

**ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ТАБЛИЦ ЧИСЕЛ ЗУБЬЕВ ПРИ
ПРОЕКТИРОВАНИИ МНОЖИТЕЛЬНЫХ СТРУКТУР**

Научная статья

Рудиков Д.А.^{1,*}

¹ ORCID : 0000-0002-2612-7486;

¹ Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (d-studio[at]mail.ru)

Аннотация

В статье описывается возможность проектирования 36-ступенчатых множительных структур с малым знаменателем ряда с помощью универсальных таблиц для подбора чисел зубьев постоянной пары и в множительных группах. Показано, что данная методика позволяет на стадиях предпроектного кинематического расчета подбирать один или более вариантов чисел зубьев для множительной структуры, которые гарантированно обеспечат высокую точность реализации ряда предпочтительных чисел, что, в свою очередь, будет способствовать точности обрабатываемых изделий и надежности технологического оборудования. Использование универсальных таблиц позволяет проектировать классические 36-ступенчатые приводы, состоящие из четырех групп, а также унифицированные, которые в дальнейшем можно трансформировать в структуры, состоящие из восемнадцати или двенадцати ступеней.

Ключевые слова: погрешность ряда, множительная структура, точность ряда, передаточное отношение, множительная группа.

**POSSIBILITIES OF USING UNIVERSAL TABLES OF SPIKE NUMBERS FOR DESIGNING MULTIPLYING
STRUCTURES**

Research article

Rudikov D.A.^{1,*}

¹ ORCID : 0000-0002-2612-7486;

¹ Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russian Federation

* Corresponding author (d-studio[at]mail.ru)

Abstract

The article describes the possibility of designing 36-stage multiplier structures with a small denominator of the series with the help of universal tables for selecting the number of spikes of the constant pair and in multiplier groups. It is shown that this technique allows at the stages of pre-design kinematic calculation to select one or more variants of spike numbers for the multiplying structure, which are guaranteed to provide high accuracy of implementation of a number of preferred numbers, which, in turn, will contribute to the accuracy of processed products and reliability of technological equipment. The use of universal tables makes it possible to design classic 36-stage drives consisting of four groups, as well as unified ones, which can be further transformed into structures consisting of eighteen or twelve stages.

Keywords: series error, multiplicative structure, series accuracy, transfer ratio, multiplying group.

Введение

Известные на сегодняшний день универсальные таблицы [1], [2] помимо методики кинематического расчета множительных структур со знаменателем ряда меньше 1,26 содержат в себе и вариации проектирования коробок скоростей с 36 ступенями для каждой возможной выборки стандартного ряда [3], которых в данной книге представлено в количестве 40 штук.

Для множительной структуры $6_1 \cdot 3_6 \cdot 2_{18}$ в строке таблицы [1] показаны числа зубьев, передаточные отношения и поля отклонений погрешности множительных групп, компенсирующие добавки (относительная и абсолютная), экстремумы отклонений общей погрешности. Также приводятся значения входной частоты, которая позволяет уравнивать абсолютные экстремумы отклонений. В случае если бы потребляемая мощность холостого хода и скольжение ротора электродвигателя, оставались постоянными с переключением от одной ступени к другой, то определение чисел зубьев и передаточного отношения постоянной пары не вызывало бы никаких затруднений

$$I_{nn} = \frac{z_1}{z_2} = \frac{N_{вх}}{N_{эд}},$$

где I_{nn} – передаточное отношение постоянной пары;

z_1, z_2 – числа зубьев ведущей и ведомой шестерни соответственно;

$N_{вх}$ – входная частота множительной структуры;

$N_{эд}$ – частота вращения ротора электродвигателя.

Однако на практике, при использовании асинхронных электродвигателей, имеет место существенное различие между величинами частот вращения их ротора и магнитного поля [4], [5], [6]. Возникает скольжение, которое имеет

тенденцию к увеличению, при увеличении нагрузки и которое зависит от потребляемой мощности холостого хода, зависящей от потерь на трение в множительной структуре и частоты вращения шпинделя.

Методы и принципы исследования

Имеющиеся статистические данные, полученные в результате ранее проведенных экспериментов [7], [8], [9], позволяют в первом приближении зафиксировать среднее значение мощности на холостом ходу. По данной мощности рассчитываются средние значения вращения ротора электродвигателя и величины скольжения в нем. Данный подход будет предпочтительным, нежели вести расчет по номинальной или синхронной частотам вращения ротора электродвигателя, но и он может сказаться на общей погрешности – увеличить отклонение до 0,5%.

Но целью проектного кинематического расчета является обеспечение достаточно высокой точности на этапе расчета числа зубьев шестерен постоянной пары, а для этого необходимо:

- иметь точные значения частот вращения ротора электродвигателя на холостом ходу для каждой частоты вращения на выходе множительной структуры;
- знать для каких ступеней множительной структуры имеются максимальные и минимальные значения округлений ряда предпочтительных чисел, передаточных отношений множительной структуры и постоянной пары и частоты вращения ротора электродвигателя.

За основу взята множительная структура консольно-фрезерного станка на восемнадцать ступеней, для которой есть данные по значениям скольжения в электродвигателе, полученным экспериментальным путем [10].

Однако универсальные таблицы [1], [2] содержат лишь значения минимального и максимального отклонений чисел зубьев множительной структуры, без уточнения на какой ступени они располагаются. Таким образом, используя универсальные таблицы, расчет множительной структуры следует вести по следующему алгоритму:

- 1) определяются отклонения округления ряда стандартных чисел и передаточных отношений в множительных группах;
- 2) суммируются все значения составляющие общую погрешность для каждой ступени рассматриваемой множительной структуры;
- 3) определяются экстремумы множительной структуры;
- 4) составляются уравнения кинематического баланса для ступеней с экстремальными отклонениями, определяются средние отклонения и подтверждается значение входной частоты;
- 5) усредняются для ступеней с экстремумами значения вращения ротора электродвигателя;
- 6) учитывая среднюю частоту вращения ротора и входную частоту множительной структуры рассчитываются значения числа зубьев постоянной пары и их передаточное отношение;
- 7) определяется общая погрешность на входе (по уравнениям кинематического баланса), дается оценка ее допустимости и сбалансированности.

Ниже приведены в форме матриц взятые из универсальных таблиц [1, табл. 41] числа зубьев в множительных группах и погрешности их передаточных отношений (табл. 1), а также значения округления ряда стандартных чисел (табл. 2) и общей погрешности множительной структуры (табл. 3).

Таблица 1 - Величины чисел зубьев и погрешности передаточных отношений в множительных группах

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.12.1>

Числа зубьев в множительных группах				Погрешность передаточных отношений в группах			
6 ₁	3 ₆	2 ₁₈		6 ₁	3 ₆	2 ₁₈	
		Варианты				Варианты	
		1	2			1	2
39/30				0,827			
37/32				0,619			
35/34				0,514			
33/36	45/45			0,428	0,473		
31/38	30/60	60/33	69/34	0,284	0,237	-0,548	-0,239
29/40	18/72	20/79	21/82	0,000	0,000	0,000	0,000

Таблица 2 - Погрешность округления ряда стандартных чисел

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.12.2>

Погрешность округления для ряда 31,5–1800					
0,388	0,152	0,709	0,473	0,237	0,000
-0,053	-0,290	0,888	0,652	0,416	0,180
-0,475	-0,714	-0,953	0,388	0,152	0,709

-0,742	-0,982	-1,221	-0,053	-0,290	0,888
0,237	0,000	-0,237	-0,475	-0,714	-0,953
0,416	0,180	-0,057	-0,742	-0,982	-1,221

Таблица 3 - Величины общей погрешности на выходе 36-ступенчатой множительной структуры

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.12.3>

Общая погрешность 36-ступенчатой множительной структуры					
–	–	1,182	-0,075	–	–
–	–	1,644	0,387	–	–
–	–	-0,052	–	–	1,062
–	–	-0,234	–	–	1,327
–	–	0,855	–	–	-0,409
–	1,244	1,243	–	–	-0,469

То есть экстремальные отклонения расположены: максимальное 1,644% на 14 ступени, минимальное 0,469% на 36 ступени.

Оценим точность расчета по универсальным таблицам с помощью уравнений кинематического баланса:

$$N_{14} = 685,2 \cdot \frac{31}{38} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{20}{79} = 141,513658 \text{ мин}^{-1},$$

$$N_{36} = 685,2 \cdot \frac{39}{30} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{66}{33} = 1781,52 \text{ мин}^{-1},$$

$$w_{14} = \frac{141,513658 - 140}{141,253754} \cdot 100\% = 1,0716\%,$$

$$w_{14} = \frac{1718,52 - 1800}{1788,279379} \cdot 100\% = -1,0334\%.$$

Отклонения достаточно симметричны и уточнение входной частоты не имеет смысла.

Усреднённая частота электродвигателя для экстремальных ступеней:

$$N_{\text{эд.ср}} = \frac{N_{\text{эд14}} + N_{\text{эд36}}}{2} = \frac{1498,846 + 1491,114}{2} = 1494,48 \text{ мин}^{-1}.$$

Расчётное передаточное отношение постоянной пары:

$$I_{nn}^{\text{расч}} = \frac{N_{\text{вх}}}{N_{\text{эд.ср}}} = \frac{685,2}{1494,48} = 0,458487$$

Учитывая, что оно близко к 0,5, его можно интерпретировать формулой:

$$I_{nn}^{\text{расч}} = \frac{z_1}{z_2} = \frac{z_1}{2 \cdot z_2 + z_{\text{цел}}},$$

откуда

$$z_1 = \frac{I_{nn}^{\text{расч}}}{1 - 2 \cdot I_{nn}^{\text{расч}}} \cdot z_{\text{цел}} = \frac{0,458487}{1 - 2 \cdot 0,458487} \cdot z_{\text{цел}} = 5,52221 \cdot z_{\text{цел}}.$$

Подставляя $z_{\text{цел}}$ – целые числа от 3 до 10 отбираем такие z_1 которые имеют минимальные отличия от целого, определяем z_2 и погрешность фактического передаточного отношения.

При $z_{\text{цел}} = 4$, $z_1 = 22,09 \approx 22$, $z_2 = 2 \cdot 22 = 44$, погрешность округления передаточного отношения постоянной пары будет равно:

$$w_{nn}^{\text{расч}} = \frac{I_{nn} - I_{nn}^{\text{расч}}}{I_{nn}^{\text{расч}}} \cdot 100\% = \frac{0,458333 - 0,458487}{0,458487} \cdot 100\% = -0,03359\%.$$

Для ступеней с экстремальными отклонениями также определяются выходные частоты и погрешности их округления.

Основные результаты

Результаты расчета заносятся в табл. 4. Записав в таблицу также частоты вращения ротора электродвигателя для каждой ступени, частоты стандартного ряда и их неокругленные величины, осуществляется заключительная фаза проектного расчета – рассчитываются входные частоты и их погрешность тремя способами:

- 1) с использованием уравнений кинематического баланса;
- 2) с помощью простого суммирования;
- 3) с помощью суммирования с добавлением поправок от слагаемых второго порядка малости.

Таблица 4 - Точностные характеристики структуры 36=6₁·3₆·2₁₈

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.12.4>

№ сектора	№ ступени	Частота эл.двиг	Числа зубьев шестерен						Частота вращения, об/мин			Относительная погрешность, %							Полерассеивания			
			группы						станд.	геомерич.	расчетная	округления станд. чисел	общая									
													в группах		пост. ояной пары	суммированием		по уравн. кинемат. баланса				
													W _{stк}	W _{l_j}		W _{stк}	W _{stк} ⁺ W _{stк} ⁻			W _{Bк}	С	
k	N _{Bк}	1	6 ₁	3 ₆	2 ₁₈	N _{stк}	N _{Gк}	N _{Rк}	W _{stк}	W _{l_j}	W _{2_j}	W _{3_j}	W _{пк}	W _{stк}	W _{stк} ⁺ W _{stк} ⁻	W _{Bк}	С					
1	14	149 8,75 9	22	48	31	38	45	45	21	82	140	141, 253	143, 514	0,88 75	0,28 59	0,47 54	0,00 00	0,83 16	2,48 06	2,50 24	2,48 83	2,58 42
	36	149 0,00 8			39	30			69	34	180 0	180 1,71	180 1,70 5	- 1,22 14	0,83 36		- 0,23 81	0,24 29	0,09 24	0,07 98	0,09 59	
2	14	149 8,75 9	24	53	31	38	45	45	20	79	140	141, 253	0,88 75	0,88 75	0,28 59	0,47 54	0,00 00	- 0,37 91	1,26 99	1,27 18	1,33 05	2,35 99
	36	149 0,00 8			39	30			60	33	180 0	180 1,71	175 9,79 5	- 1,22 14	0,83 36		0,58 63	- 0,96 07	- 0,28 68	- 0,30 47	- 1,29 44	
3	14	149 8,75 9	19	42	31	38	45	45	21	82	140	141, 253	141, 651	0,88 75	0,28 59	0,47 54	0,00 00	- 0,47 79	1,17 11	1,17 13	1,16 88	2,38 87
	36	149 0,00 8			39	30			69	34	180 0	180 1,71	177 8,30 6	- 1,22 14	0,83 36		- 0,23 81	- 1,05 89	- 1,20 94	- 1,22 01	- 1,21 99	
4	15	149 8,75 9	16	51	36	34	45	45	23	81	140	141, 253	141, 254	0,88 75	- 0,12 49	0,47 54	0,00 00	- 0,26 89	0,96 93	0,96 85	0,96 77	2,30 37
	36	149 1,11			42	28			72	32	160 0	158 4,89	158 4,89	- 0,95	0,16 71		- 0,24	- 0,77	- 1,33	- 1,33	- 1,33	

		4								3	31			38	76	21	23	59			
	15	149 8,75 9	17	54	36	34			23	81	140	141, 253	141, 254	0,88 75	- 0,12 49	0,00 00	0,07 74	1,31 56	1,31 91	1,31 53	2,30 53
	36	149 1,11 4			42	28	72	32	160 0	158 4,89	158 4,89 3	- 0,95 31	0,16 71	- 0,24 38	- 0,43 30	- 0,98 76	- 0,98 97	- 0,99 01			
	15	149 8,75 9	18	57	36	34			23	81	140	141, 253	141, 254	0,88 75	- 0,12 49	0,00 00	0,38 72	1,62 54	1,63 27	1,62 62	2,30 67
	36	149 1,11 4			42	28	72	32	160 0	158 4,89	158 4,89 3	- 0,95 31	0,16 71	- 0,24 38	- 0,12 48	- 0,67 93	- 0,67 93	- 0,68 32			
	15	149 8,75 9	21	67	36	34			23	81	140	141, 253	141, 254	0,88 75	- 0,12 49	0,00 00	- 0,36 19	0,87 62	0,87 63	0,87 43	2,30 32
	36	149 1,11 4			42	28	72	32	160 0	158 4,89	158 4,89 3	- 0,95 31	0,16 71	- 0,24 38	- 0,87 01	- 1,42 46	- 1,42 46	- 1,42 44			
	15	149 8,75 9	22	70	36	34			23	81	140	141, 253	141, 254	0,88 75	- 0,12 49	0,00 00	- 0,09 07	1,14 74	1,14 88	1,14 64	2,30 45
	36	149 1,11 4			42	28	72	32	160 0	158 4,89	158 4,89 3	- 0,95 31	0,16 71	- 0,24 38	- 0,60 03	- 1,15 49	- 1,15 61	- 1,15 81			
5	15	149 8,75 9	22	63	36	34			21	82	140	141, 253	141, 920	0,88 75	- 0,12 49	0,00 00	0,12 11	1,35 93	1,36 33	1,35 91	2,29 98
	36	149 1,11 4			42	28	69	34	160 0	158 4,89	158 5,09 2	- 0,95 31	0,16 71	- 0,23 81	- 0,38 96	- 0,93 83	- 0,94 08	- 0,94 06			
	15	149 8,75 9	16	46	36	34			21	82	140	141, 253	141, 359	0,88 75	- 0,12 49	0,00 00	- 0,27 46	0,96 35	0,96 27	0,96 19	2,29 79
	36	149 1,11 4			42	28	69	34	160 0	158 4,89	157 8,82 7	- 0,95 31	0,16 71	- 0,23 81	- 0,78 33	- 1,33 20	- 1,33 23	- 1,33 60			
	15	149 8,75 9	23	66	36	34			21	82	140	141, 253	141, 627	0,88 75	- 0,12 49	0,00 00	- 0,08 57	1,15 24	1,15 39	1,15 15	2,29 88

	36	149 1,11 4			42	28			69	34	160 0	158 4,89	158 4,89 3	- 0,95 31	0,16 71		- 0,23 81	- 0,59 54	- 1,14 41	- 1,14 55	- 1,14 73		
6	15	149 8,67 2	-	-	23	67	49	46	19	73	140	141, 253	142, 636	0,88 75	1,89 62	0,33 89	0,00 00	- 1,23 54	1,88 73	1,87 49	1,86 60	4,42 59	
	36	149 0,00 8	-	-	29	61			62	30	160 0	158 4,89	155 9,42 9	- 0,95 31	- 0,09 83		- 0,03 69	- 1,80 63	- 2,55 57	- 2,54 45	- 2,55 98		
7	14	149 8,75 9	-	-	22	64			19	73	140	141, 253	142, 838	0,88 75	1,10 13		0,00 00	- 0,31 79	2,00 99	2,01 90	2,00 90		4,41 38
	36	149 0,00 8	-	-	30	56			62	30	180 0	180 1,71	175 7,23 8	- 1,22 14	- 0,58 61		- 0,03 69	- 0,89 98	- 2,40 53	- 2,39 02	- 2,40 46		
8	33	149 3,32 5	-	-	23	67	49	39	67	34	125 0	125 8,93	126 9,21 4	0,70 90	1,89 62	0,69 01	0,47 33	- 2,19 99	1,56 87	1,53 28	1,52 62	4,12 32	
	36	149 0,00 8	-	-	29	61					180 0	180 1,71	175 3,81 7	- 1,22 14	- 0,09 83			- 2,41 71	- 2,57 34	- 2,58 05	- 2,59 70		
9	33	149 3,32 5	-	-	23	66					125 0	125 8,93	128 8,44 4	0,70 90	1,98 31			- 0,80 28	3,05 28	3,07 05	3,05 37	4,00 71	
	36	149 0,00 8	-	-	29	60					180 0	180 1,71	178 3,04 7	- 1,22 14	0,13 62			- 1,02 31	- 0,94 48	- 0,95 66	- 0,95 33		

Помимо основного расчета был произведен проектный расчет еще нескольких вариантов для данной множительной структуры. Значения этих расчетов представлены в табл. 4 (для каждого варианта представлены ступени с экстремальными отклонениями).

Заключение

Таким образом предварительный проектный расчет позволяет с высокой точностью и минимальной погрешностью подобрать для множительной структуры числа зубьев, которые обеспечат требуемую симметричность отклонений. Помимо этого, для некоторых множительных групп есть возможность подобрать несколько вариантов чисел зубьев постоянной пары (табл. 4, сектор 4 и сектор 5). Отклонения общей погрешности лежат в допустимом пределе – 2,6% и не превышают нормативных значений более чем на 1,5%.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Заверняев Б. Г. Таблицы и методы для кинематического расчета коробок передач с малым знаменателем ряда / Б. Г. Заверняев — Ростов-на-Дону: ЛаПО, 2001. — 222 с.
2. Заверняев Б. Г. Таблицы универсальные для подбора чисел зубьев в коробках передач и рекомендации по их использованию / Б. Г. Заверняев, Э. В. Курис — Ростов-на-Дону: ДГТУ, 1993. — 168 с.
3. ГОСТ 8032-84 (СТ СЭВ 3961-83). Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел — Введ. 1985-07-01. — Москва: Издательство стандартов, 1987. — 16 с.
4. Rudikov D. A.. Error analysis of the cutting machine step adjustable drive / D. A. Rudikov, A. S. Ilinykh; edited by MURGUL V. — Divnomorskoe: IOP Publishing Ltd, 2021. — Iss. 2131. — p. 022046. — DOI: 10.1088/1742-6596/2131/2/022046.
5. Кленова И. А. Нормирование точности привода металлорежущих станков / И. А. Кленова, Д. А. Рудиков, С. Н. Холодова // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. — 2017. — Т. 44. — № 1. — с. 17-25. — DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-1-17-25.
6. Рудиков Д. А. Повышение точности и надежности привода металлорежущего станка по критерию минимизации погрешности ряда / Д. А. Рудиков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2023. — 3. — с. 45-83. — DOI: 10.24412/2071-6168-2023-3-75-84.
7. Рудиков Д. А. Совершенствование кинематических расчётов коробок передач металлорежущих станков / Д. А. Рудиков // Вестник Донского государственного технического университета. — 2010. — 2 (45). — с. 224-228.
8. Рудиков Д. А. Оценочные математические модели для определения точности привода металлорежущих станков / Д. А. Рудиков // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. — 2011. — № 1 (41). — с. 25-30.
9. Finochenko T.A. Risk management in transportation safety system / T. A. Finochenko, L. V. Dergacheva, I. A. Yaitskov; — Vladivostok: IOP Publishing Ltd, 2021. — DOI: 10.1088/1755-1315/666/2/022050.
10. Рудиков Д.А. Синтез двухсвязанных множительных структур металлорежущих станков / Д. А. Рудиков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2022. — 6. — с. 260-264. — DOI: 10.24412/2071-6168-2022-6-260-265.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zavernjaev B. G. Tablitsy i metody dlja kinematicheskogo rascheta korobok peredach s malym znamenatelem rjada [Tables and methods for the kinematic calculation of gearboxes with a small series denominator] / B. G. Zavernjaev — Rostov-na-Donu: LaPO, 2001. — 222 p. [in Russian]
2. Zavernjaev B. G. Tablitsy universal'nye dlja podbora chisel zub'ev v korobkah peredach i rekomendatsii po ih ispol'zovaniju [Universal tables for selecting the number of teeth in gearboxes and recommendations for their use] / B. G. Zavernjaev, E. V. Kuris — Rostov-na-Donu: DGTU, 1993. — 168 p. [in Russian]
3. GOST 8032-84 (ST SEV 3961-83). Predpochtitel'nye chisla i rjady predpochtitel'nyh chisel [Preferred numbers and rows of preferred numbers] — Introduced 1985-07-01. — Moskva: Izdatel'stvo standartov, 1987. — 16 p. [in Russian]
4. Rudikov D. A.. Error analysis of the cutting machine step adjustable drive / D. A. Rudikov, A. S. Ilinykh; edited by MURGUL V. — Divnomorskoe: IOP Publishing Ltd, 2021. — Iss. 2131. — p. 022046. — DOI: 10.1088/1742-6596/2131/2/022046.
5. Klenova I. A. Normirovanie tochnosti privoda metallorezhuschih stankov [Normalisation of the drive precision of metal-cutting machines] / I. A. Klenova, D. A. Rudikov, S. N. Holodova // Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. — 2017. — Vol. 44. — № 1. — p. 17-25. — DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-1-17-25. [in Russian]

6. Rudikov D. A. Povyshenie tochnosti i nadezhnosti privoda metallorezhuschego stanka po kriteriju minimizatsii pogreshnosti rjada [Improving the accuracy and reliability of the drive of the metal-cutting machine according to the criterion of minimizing the error of the series] / D. A. Rudikov // Proceedings of Tula State University. Technical sciences. — 2023. — 3. — p. 45-83. — DOI: 10.24412/2071-6168-2023-3-75-84. [in Russian]

7. Rudikov D. A. Sovershenstvovanie kinematicheskikh raschetov korobok peredach metallorezhuschih stankov [Improvement of kinematic calculations of gearboxes of metal-cutting machines] / D. A. Rudikov // Bulletin of the Don State Technical University. — 2010. — 2 (45). — p. 224-228. [in Russian]

8. Rudikov D. A. Otsenochnye matematicheskie modeli dlja opredelenija tochnosti privoda metallorezhuschih stankov [Estimated mathematical models for determining the accuracy of the drive of metal-cutting machines] / D. A. Rudikov // Bulletin of the Rostov State Transport University. — 2011. — № 1 (41). — p. 25-30. [in Russian]

9. Finochenko T.A. Risk management in transportation safety system / T. A. Finochenko, L. V. Dergacheva, I. A. Yaitskov; — Vladivostok: IOP Publishing Ltd, 2021. — DOI: 10.1088/1755-1315/666/2/022050.

10. Rudikov D.A. Sintez dvuhsvjazannykh mnozhitel'nykh struktur metallorezhuschih stankov [Synthesis of two-linked multiplying structures of metal-cutting machines] / D. A. Rudikov // Proceedings of Tula State University. Technical sciences. — 2022. — 6. — p. 260-264. — DOI: 10.24412/2071-6168-2022-6-260-265. [in Russian]