

УДК 621-01
DOI 10.5862/TMM.32.5

Поступила в редакцию 25.05.2016

После доработки 25.05.2016

Принята к печати 23.11.2016



КАТАЛОГ ВОСЬМИЗВЕННЫХ ПЛОСКИХ ШАРНИРНЫХ НЕЗАМКНУТЫХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ, ОБЛАДАЮЩИХ НУЛЕВОЙ ПОДВИЖНОСТЬЮ (БЕЗ ЦЕПЕЙ АССУРА)

А.А. Романцев

Доктор технических наук, профессор кафедры "Самолётостроение" института авиационных технологий и управления (Ульяновский государственный технический университет).

432072, Россия, Ульяновск, проспект Созидателей, д. 13, корп. 2

Рассматриваются результаты поиска многообразия плоских восьмизвенных незамкнутых кинематических цепей, обладающими нулевой подвижностью и не являющихся цепями Ассура. В результате создан каталог, включающий в себя 460 подобных цепей. На кинематические цепи каталога разработана классификационная таблица, составленная из параметров: разряда R , порядка r , замкнутых контуров a_i , кодовой записи цепи δ , представляющей цепочку чисел, обозначающих последовательность соединения звеньев цепи. Основное назначение кинематических цепей каталога – создание на их основе структурных схем одноподвижных десятизвенных плоских шарнирных механизмов. Рассматриваются примеры создания подобных механизмов. В заключении отмечается, что разработанный каталог плоских незамкнутых кинематических цепей, обладающих нулевой подвижностью и не являющихся цепями Ассура расширяет область существования подобных цепей, что, в конечном итоге, приведет к появлению новых структурных схем одноподвижных десятизвенных плоских шарнирных механизмов.

Ключевые слова: восьмизвенные плоские кинематические цепи, обладающие нулевой подвижностью, каталог, замкнутые и незамкнутые цепи, группы Ассура.

Данная статья является продолжением работы [10] и посвящена поиску многообразия восьмизвенных незамкнутых кинематических цепей, обладающих нулевой подвижностью и не являющихся цепями Ассура.

В последние годы достаточно уделялось внимания исследованиям плоских шарнирных кинематических цепей. В работе [7] представлен каталог восьмизвенных групп Ассура, включающих в себя 173 группы и представляющие как замкнутые, так и незамкнутые кинематические цепи. Приведена классификационная таблица групп каталога.

В работе [3] приведен метод поиска многообразия восьмизвенных шарнирных групп Ассура. В результате получены 167 видов групп. Из них 53 группы содержат базисное

треугольное звено, у 109 групп в основе лежит четырехугольное базисное звено и у пятой группы – пятиугольное базисное звено. Здесь, также как и в работе [7], имеют место как замкнутые, так и незамкнутые кинематические цепи.

Из приведенных примеров автор делает вывод, что исследование подобных кинематических цепей в настоящее время является актуальной задачей.

Приведенный в работе каталог содержит 460 плоских шарнирных восьмизвенных незамкнутых кинематических цепей, обладающих нулевой подвижностью. В каталог не включены имеющие место в работах [3,7] незамкнутые кинематические цепи, поскольку они уже опубликованы. Не включены также замкнутые кинематические цепи

по причине, подробно изложенной в работе [10].

Каталог создан по аналогу работы [7], т.е. приведены только конечные результаты исследований. В основу создания каталога положено правило: 1) плоская шарнирная восьмизвенная кинематическая цепь должна содержать двенадцать (12) шарниров; 2) каждое звено цепи может иметь не более одного внешнего (свободного) шарнира. Следует отметить, что второй пункт не оказывает влияния на степень подвижности цепи. Вводится он для обеспечения возможности преобразования кинематической цепи в десятизвенный одноподвижный шарнирный механизм.

На кинематические цепи каталога разработана классификационная таблица, аналогичная таблице 1 работы [7]. В неё, наряду с разрядом R и порядком r , введены дополнительные параметры a_i и S .

Параметр a_i представляет порядковый номер структурных схем a_4, a_5, a_6, a_7 , помещенных в таблицу 1. Данная таблица получена в результате исследований множества структурных схем механизмов, приведенных в работах [2, 5, 7, 8, 9]. (Примечание: индекс "А" в порядковых номерах a_i обозначает замену в таблице 1 четырехпарного, на пятипарное звено).

Автор полагает, что имеющие место различия в структурных схемах замкнутых контуров, входящих в состав кинематических цепей, определяют неизоморфность (топологически не повторяемость) сравниваемых между собой цепей.

Кодовая запись δ кинематической цепи подробно описана в работе [10] (цепочка чисел, обозначающих последовательность

соединения звеньев цепи, начиная от шарнира А).

Кинематические цепи каталога разбиты на 12 групп в зависимости от разряда R . Каждая группа разбита на подгруппы, объединяющие цепи с одинаковыми структурными схемами замкнутых контуров a_i . Неизоморфные цепи, составляющие подгруппу, имеют различные сочетания цифр, определяющих последовательность соединения их звеньев (δ). Таким образом, в каталоге различия между кинематическими цепями отображаются двумя параметрами: a_i и δ .

Основное назначение кинематических цепей каталога – создание на их основе структурных схем одноподвижных десятизвенных шарнирных механизмов путем присоединения к внешнему шарниру (или шарнирам) двух, трех, четырех и пятипарных звеньев. При этом второй шарнир звеньев, а также оставшиеся внешние шарниры других звеньев присоединяются к стойке. В работе [10] показаны примеры построения подобных механизмов. Например, на основе кинематической цепи 1-18 (см. каталог) автором созданы тринадцать (13) структурных схем десятизвенных механизмов (схемы механизмов не приводятся).

Заключение.

Разработанный каталог плоских незамкнутых кинематических цепей, обладающих нулевой подвижностью и не являющихся цепями Ассур, расширяет область существования подобных цепей, что, в конечном итоге, приведет к появлению новых структурных схем одноподвижных десятизвенных плоских шарнирных механизмов.

Таблица 2

Незамкнутые кинематические цепи ($k=4; n=8; p=12$)

n гр.	n це- пи	a_4	δ	n гр.	n це- пи	a_4	δ	n гр.	n цепи	a_6	δ
Группа 1 $R=5300; r$	1-1	-	23332222	Группа 2 $R=4400; r$ $=4$	2-11	2	32333222	Группа 2 $R=4400; r$ $=4$	2-42	4	2333(3)22
	1-2	2(3)33222	2-12		22(3)3332	2-43	23(3)3223				
	1-3	23(3)3222	2-13		2(3)33322	2-44	5		22323332		
	1-4	233(3)222	2-14		(3)333222	2-45	22333232				
	1-5	22333222	2-15		(3)33(3)22	2-46	22332323				
	1-6	23(3)32	2-16		3	22333223	2-47		6	22323323	
	1-7	223(3)32	2-17		2(3)33223	2-48	15		22323332		
	1-8	223(3)322	2-18		23(3)3223	2-49	22333232				
	1-9	22(3)332	2-19		23332232	2-50	22332323				

<i>n</i> гр.	<i>n</i> це- пи	<i>a</i> ₄	δ	<i>n</i> гр.	<i>n</i> це- пи	<i>a</i> ₄	δ	<i>n</i> гр.	<i>n</i> цепи	<i>a</i> ₆	δ		
Группа 2 <i>R</i> =4400; $r_1=4$	1-10	1	23323222	1	2-20	4	22333232	Группа 3 <i>R</i> =3500; $r_1=3$	2-51	16	2322(3)33		
	1-11		2(3)32322		<i>a</i> ₅	2-52	232233(3)						
	1-12		23(3)2322		2-21	1	22333322		2-53		23223(3)3		
	1-13		22233232		2-22		233(3)322		2-54		22322333		
	1-14		223(3)232		2-23		2333(3)22		2-55		22332233		
	1-15		22(3)3232		2-24		22333223				<i>a</i> ₇		
	1-16		2332(3)22		2-25		223(3)223		2-56		5	23233223	
	1-17		22323232		2-26	2	22332323		2-57			323(3)223	
	1-18		22322332		2-27		22332332				<i>a</i> ₄		
	1-19		23223322		2-28	3	22233332		3-1		1/2	22333332	
	1-20		2(3)22332		2-29		22233323		3-2			22332333	
	1-21		2322(3)32		2-30		223(3)332		3-3			22333332	
	1-22		23222332		2-31		2233(3)32		3-4			2233(3)33	
	1-23		23223232		2-32		22333(3)2				<i>a</i> ₅		
	2-1		2		22223333		<i>a</i> ₆				3-5	23333322	
	2-2				22233332	2-33	1		23333222		3-6	23332233	
	2-3				22233(3)3	2-34			23332223		3-7	23322333	
	2-4				22333(3)	2-35	3		23323322		3-8	3322(3)33	
	2-5				2233(3)3	2-36			23322323		3-9	23223333	
	2-6				223(3)(3)3	2-37			23332232		3-10	23333223	
	2-7				22(3)33(3)	2-38	4		22333322		4-1	-	22032222
	2-8				23233322	2-39			22333223		4-2		20232222
	2-9				3233(3)22	2-40			23(3)3322		4-3		20832
2-10		22323332	2-41		233(3)322	4-4		02832					

Продолжение таблицы 2

<i>n</i> гр.	<i>n</i> це- пи	<i>a</i>	δ	<i>n</i> гр.	<i>n</i> це- пи	<i>a</i> ₄	δ	<i>n</i> гр.	<i>n</i> це- пи	<i>a</i> ₄	δ	
Группа 4 <i>R</i> =6110; $r_1=5$	4-5	-	4203222	Группа 5 <i>R</i> =5210; $r_1=4$	5-1	3	2(4)3322	Группа 5 <i>R</i> =5210; $r_1=4$	5-35	8	23224322	
	4-6		4023222		5-2		22(4)3322		5-36		322(4)322	
	4-7		2223222		5-3	4	2(4)32(3)2		5-37		322(4)32	
	4-8		260322		5-4		22(4)3232		5-38		23224232	
	4-9		206322		5-5	5	22234232		5-39		32242322	
	4-10		260(3)2		5-6		22(3)42(3)2		5-40		322(4)232	
	4-11		206(3)2		5-7		223(4)232		5-41		32242(3)2	
	4-12		440322		5-8		22342(3)2		5-42		32242232	
	4-13		404322		5-9		2342(3)22		5-43		9	24(3)2322
	4-14		44232		5-10	6	22(3)2432		5-44		22432322	
	4-15		42432		5-11		2(3)24322		5-45		22243232	
	4-16		222(3)22		5-12		22423432		5-46		22224323	
	4-17		204(3)22		5-13	7	24223322		5-47		24323222	
	4-18		22023222		5-14		2422(3)2		5-48		10	23(4)2322
	4-19		20223222		5-15		2(4)22332		5-49		23(4)232	
	4-20		2222322		5-16		22422332		5-50		223(4)232	
	4-21		2402322		5-17		24223232		5-51		22242332	
	4-22		2042322		5-18		22322432		5-52		22242(3)3	
	4-23		2222(3)2		5-19		2322(4)32		5-53		24233222	

<i>n</i> гр.	<i>n</i> це- пи	<i>a</i>	δ	<i>n</i> гр.	<i>n</i> це- пи	<i>a</i> ₄	δ	<i>n</i> гр.	<i>n</i> це- пи	<i>a</i> ₄	δ
	4-24		2042(3)2		5-20		23224322		5-54		2(4)33222
	4-25		2402(3)2		5-21		322(4)322		5-55	11	23(4)2322
	4-26		224232		5-22		322(4)32		5-56		2242(3)32
	4-27		242232		5-23		23224232		5-57		223(4)232
	4-28		602232		5-24		32242322		5-58		22242332
	4-29		620232		5-25		322(4)232		5-59		22242(3)3
	4-30		2204322		5-26		32242(3)2		5-60		2223(4)23
	4-31		2024322		5-27		32242232		5-61		2(4)33222
	4-32		222232		5-28	8	24223322		5-62	12	223(4)(3)2
	4-33		2204(3)2		5-29		4223(3)2		5-63		22432322
	4-34		2024(3)2		5-30		2(4)22332		5-64		2224(3)23
	4-35		202632		5-31		22422332		5-65		22224323
					5-32		24223232		5-66		2223(4)32
					5-33		22322432				
					5-34		2322(4)32				

<i>n</i> гр.	<i>n</i> це- пи	<i>a</i> ₅	δ	<i>n</i> гр.	<i>n</i> це- пи	<i>a</i> ₅	δ	<i>n</i> гр.	<i>n</i> це- пи	<i>a</i> ₄	δ	
Група 5 $R=5210; \gamma=4$	5-67	4	2(4)22332	Група 5 $R=5210; \gamma=4$	5-101	12	22423232	Група 6 $R=6020; \gamma=4$	6-12	16	22422422	
	5-68		23(4)2232		5-102		22(4)2323		6-13			22422(4)2
	5-69		23(4)223		5-103	13	22332(4)2		6-14			2(4)22(4)2
	5-70		223(4)223		5-104		2242(3)32		6-15			2422(4)22
	5-71	5	2332(4)22		5-105		22(4)2332		6-16	17		22242(4)2
	5-72		23422(3)2		5-106	14	2232(4)32		6-17			2242(4)2
	5-73		2(3)42232		5-107		223(4)232		6-18			2242(4)22
	5-74		22342232		5-108		2242(3)23		6-19			22(4)2(4)2
	5-75	6	233(4)222		5-109		22423232			<i>a</i> ₅		
	5-76		23422232		5-110		22(4)2323		6-20	10		22422(4)2
	5-77		2(3)42223			<i>a</i> ₆			6-21			2(4)22(4)2
	5-78		23(4)2223		5-111	11	24223232		6-22	15		22422(4)2
	5-79		22342223		5-112		22422323		6-23			2(4)22(4)2
	5-80	7	24222332		5-113		2422(3)23		6-24	16		2422(4)22
	5-81		23422232		5-114	12	2422(3)32		6-25			2422(4)2
	5-82		22342223		5-115		24223(3)2			<i>a</i> ₆		
	5-83	8	2233(4)22		5-116		22422332		6-26	8		24222(4)2
	5-84		223(4)2232		5-117	13	22423232		6-27	9		24222(4)2
	5-85		22422332		5-118	14	22423232		6-28	10		2422(4)22
	5-86		22422(3)3			<i>a</i> ₇			6-29	17		2422(4)22
5-87		2(4)22332	5-119	3	24223322	7-1	7/13		242(4)223			
5-88		2(4)22(3)3	5-120	4	24223232	7-2	7/14		24224223			
5-89	9	3(4)22322		<i>a</i> ₄		7-3	7/18		22442232			
5-90		223(4)223	Група 6 $R=6020; \gamma=4$	6-1	13	2242(4)22	7-4			24(4)2232		
5-91		22422332		6-2		2242(4)2	7-5			2(4)42232		
5-92		2242(3)3		6-3		22(4)2(4)2	7-6	7/20		22424223		
5-93		2(4)22332		6-4	14	22422422	7-7			242(4)223		
5-94		2(4)22(3)3		6-5		22422(4)2	7-8			2(4)24223		
5-95	11	2232(4)23		6-6		22(4)2242	7-9	8/18		22442232		
5-96		232(4)23		6-7		2(4)22(4)2	7-10			2(4)42232		

n зр.	n цепи	a ₅	δ	n зр.	n цепи	a ₅	δ	n зр.	n цепи	a ₄	δ
	5-97		22(4)2332		6-8	15	22422422		7-11		24(4)2232
	5-98	12	22323(4)2		6-9		22422(4)2		7-12	8/20	22424223
	5-99		223(4)232		6-10		22(4)2242		7-13		2(4)24223
	5-100		2242(3)23		6-11		2(4)22(4)2		7-14		242(4)223

Продолжение таблицы 2

n зр.	n цепи	a ₄	δ	n зр.	n цепи	a ₄	a ₅	δ	n зр.	n цепи	a ₄	a ₅	δ		
Группа 7 R=5120; r=3	7-15	7/20	22424223	Группа 7 R=5120; r=3	7-48	20	10	2243(4)22	Группа 8 R=7001; r=3	7-79	18		24422232		
	7-16	14/16	23422422		7-49			223422(4)		7-80				24242223	
	7-17	14/18	22324224		7-50			2422(4)3		7-81	18			24422232	
	7-18		22422432		7-51			23(4)2242		8-1				24206	
	7-19		24222432			a ₄	a ₆			8-2				42026	
	7-20	15/18	22324224		7-52	13	18	2424322(4)		8-3				22244	
	7-21		22422432		7-53			2432242(4)		8-4				24224	
	7-22		23(4)224		7-54			232242(4)		8-5				42404	
	7-23	16/18	22324224		7-55	17	18	232242(4)		8-6				24440	
	7-24		22422432		7-56			242(4)322		8-7				22082	
	7-25		232(4)224		7-57	18	19	24322242		8-8				28202	
	7-26	14/14	23422422		7-58	19	19	2432224					a ₄		
	7-27	20/20	22242(4)3		7-59	20	20	24222(4)3					5A		2222(3)2
	7-28		22342(4)2		7-60			23424222							0422(3)2
	7-29		22(4)2(4)3				a ₅								0222(3)22
	7-30		22234242		7-61	4	17	24422(3)2							044232
		a ₄	a ₅		7-62		18	24242232							242(3)2
	7-31	7	19		24422322	7-63	5	17		24422(3)2				6A	222322
	7-32	7	20		24224223	7-64		18		24242232					44232
	7-33	8	19		24422322	7-65	10	18		2423(4)22				7A	222432
	7-34	8	20		24224223	7-66				2422(4)23					042432
	7-35	13	18		2242(4)32	7-67				23422(4)2					0224322
	7-36				2242(4)23	7-68	15	18		23422(4)2					04443
	7-37				22342(4)2	7-69				2422(4)23				8A	24432
	7-38	14	19		24224223	7-70				2423(4)22					224322
	7-39				23422422	7-71	16	18		23422(4)2					44430
	7-40	15	19		24224223	7-72				2422(4)23					22430
	7-41				23422422	7-73				2423(4)22				a ₅	
	7-42	16	19		24223422	7-74	19	19		24422322				5A	224(3)2
	7-43				23422422	7-75	20	20		23422422					24432
7-44	18	4	22432242	7-76			3(4)22422				4A	0224(3)2			
7-45			24322(4)2			a ₄						204432			
7-46	19	4	22432242	7-77	7	19	22423224				6A	022632			
7-47			2432(4)2	7-78			24232242					20463			
													24432		
													0224(3)2		
													204432		
													022632		
													20463		

n зр.	n цепи	a ₅	δ	n зр.	n цепи	a ₄	a ₅	δ	n зр.	n цепи	a ₄	δ	
Группа 9	9-22	7A	226032	Группа 10 R=5201; r=3	10-19	7A	9A	25223223	Группа 11 R=6011; r=3	11-5	14A/14A	22522422	
	9-23		24603		10-20	7A	12A	25223232		11-6			2(5)22422
		a ₆			10-21	8A	8A	25223322		11-7			2522(4)22
	9-24	19A	22202322		10-22	8A	9A	25223223		11-8	16A/16A		22522422
	9-25	21A	2204322		10-23	8A	12A	25223232		11-9			2522(4)22
	9-26	22A	024243		10-24	7A/	-	22523322			a ₄	a ₅	
9-27		2602	10-25	12A		252(3)322		13A			22522(4)2		
Группа 10 R=5201; r=3		a ₄		10-26	9A	6A	25222323					2(5)22(4)2	
	10-1	5A/11A	22(5)2(3)3	10-27	9A	7A	25222323	11-10				2522(4)2	
	10-2		2252(3)32	10-28	11A	6A	25222332	11-11				2252(4)22	
	10-3		252(3)322	10-29	11A	7A	25222332	11-12				2(5)2(4)22	
	10-4	7A/9A	25223232	10-30	11A	4A	225222(3)3	11-13				252(4)22	
	10-5		22522323	10-31			2(5)22(3)3	11-14				252(4)22	
	10-6	7A/10A	22522332	10-32			2522(3)32	11-15				2522(4)22	
								11-16				2522(4)22	
								11-17	10A			2522(4)22	

<i>n</i> <i>зр.</i>	<i>n</i> <i>цели</i>	<i>a</i> ₅	<i>б</i>	<i>n</i> <i>зр.</i>	<i>n</i> <i>цели</i>	<i>a</i> ₄	<i>a</i> ₅	<i>б</i>	<i>n</i> <i>зр.</i>	<i>n</i> <i>цели</i>	<i>a</i> ₄	<i>б</i>
	10-7		2522332				<i>a</i> ₅				<i>a</i> ₄	
	10-8	7A/11A	22522332		10-33	4A	11A	2522(3)32		12-1	5A	252(3)422
	10-9		25223(3)2		10-34		12A	2522(3)23		12-2	14A/18A	24225232
	10-10	8A/9A	22522323		10-35	5A	11A	2522(3)32		12-3	5A	25224(3)2
	10-11		25223232		10-36		12A	2522(3)23		12-4	7 13A,20A	2432(5)22
	10-12	8A/11A	22522332		10-37		8A/4A	2253(3)22		12-5	7A	25223(4)2
	10-13		25223(3)2		10-38			2(5)3(3)22		12-6	13A	2(4)25223
		<i>a</i> ₄	<i>a</i> ₅							12-7	20A	2(4)32252
	10-14	5A	13A	2252(3)32		11-1	13A/13A	2252(4)252		12-8		252(4)322
	10-15	5A	12A	2252(3)23		11-2		22(5)24252			<i>a</i> ₄	<i>a</i> ₅
	10-16	6A	12A	2252(3)32		11-3		2(5)2(4)22		12-9	13/18	10
	10-17	6A	13A	2252(3)23		11-4		2(5)2(4)252		12-10		23(4)22(5)3
	10-18	7A	8A	25223322								

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Артоболовский И.И.** К вопросу о структуре и классификации кинематических цепей с замкнутым контуром. Известие А.Н.СССР, ОТН, 1939, №4, С. 27-34.
2. **Дворников Л.Т., Гудимова Л.И.** Задача о поиске многообразия восьмизвенных плоских шарнирных групп Ассур // Теория механизмов и машин. 2008. Том 6. №1(11) С. 15-29.
3. **Дворников Л.Т.** К вопросу о классификации плоских групп Ассур // Теория механизмов и машин. 2008. Том 6. №2(12) С. 18-25.
4. **Ковалев М.Д.** О структурных группах Ассур. // Теория механизмов и машин. 2006. Том 4. №1(7) С. 18-26.
5. **Пейсах Э.Е.** Атлас структурных схем восьмизвенных плоских шарнирных механизмов. // Теория механизмов и машин. 2006. Том 4. №1(7) С. 3-17.
6. **Пейсах Э.Е.** Классификация плоских групп Ассур. // теория механизмов и машин. 2007. Том 5. №1(9) С. 5-17.
7. **Пейсах Э.Е.** Каталог восьмизвенных плоских групп Ассур. // Теория механизмов и машин. 2007. Том 5. №2(10) С. 15-17.
8. **Пожбелко В.И.** Универсальный метод топологического синтеза многоконтурных структур и атлас кинематических цепей восьмизвенных механизмов и их инвариантов. // Теория механизмов и машин. 2014. Том 12. №2(24) С. 66-79.
9. **Романцев А.А.** К вопросу создания структурных схем плоских шарнирных групп звеньев. // Теория механизмов и машин. 2014. Том 8. №1(23) С. 81-90.
10. **Hain K., Ziebstrhoff A.W.** Systematic cler Zwangkaufigen achtgliedrigen kinematischen Kette. – Maschinenmazkt, 8700. Wuzzburg 1964 №37. str. 14-20.
11. **Hain K., Ziebstrhoff A.W.** Dic Zwangkaufigen achtgliedrigen Getriebe mit einfach und Mehzfachgelen Ken – Maschinenmazkt, Wuzzburg 1964 №64. str. 12-18.
12. **Crossley F.R.E.** The permutation of kinematic chains of eight member or less from the graph-theoretic viewpoint // developments in Theoretical and Applied Mechanics. Vol. 2 – Pergamon Press, 1965. – pp. 467-486.
13. **Franke R.** Von Aufbau der Getriebe. Bd. 1. – Dusseldorf: VDI-Verlag, 1948. – S. 160-165/
14. **Hwang W.-M., Hwang Y.-W.** Computer-aided structural synthesis of planar kinematic chains with simple joints // Mechanism and Machine Theory. Vol. 27. No.2. March 1992. – pp. 189-199.
15. **M. Ceccareli** Fundamentals of Mechanism of Robotic Manipulations. Kluwer Academic Publishers, 2004. 400 p.

16. **M. Saura, A. Celdran, D. Dopico, I. Cuadrado** Computational structural analysis of planar multibody systems with lower and higher kinematic pairs // *Mechanism and Machine Theory*, 71. – Elsevier, 2014. – pp. 79-92.
17. **Tzong-Mou Wu, Cha'o-Kuang Chen** Computer-aided curvature analyses of planar four-bar linkage mechanism. *Applied Mathematics and Computation*. 168 (2) (2005). Pp. 1175-1188.
18. **Marble, S.D., Pennock, G.R.** Algebraic-geometric properties of the coupler 35 (5) (2000). Pp. 675-693.
19. **Zsombos – Murray P.I. Hayes M.I. Husty M.L.** Extreme Distance to a Spatial Circle. Special ISSUE of the Transactions of the CSME: Selected Papers of the 2nd CCToMM symposium on Mechanism Machines, and Mechatronics Vol. 28. 2004. pp. 221-235.