

DOI: 10.26730/1999-4125-2018-4-32-37

УДК 62-231.1.

КИНЕТОСТАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЧЕТЫРЁХЗВЕННОЙ ГРУППЫ АССУРА С ЗАМКНУТЫМ КОНТУРОМ НА ПРИМЕРЕ МЕХАНИЗМА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ НОЖНИЦ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ НОЖАМИ

THE KINETOSTATIC ANALYSIS OF THE FOUR-LINK GROUP OF ASSUR WITH A CLOSED LOOP ON THE EXAMPLE OF THE MECHANISM OF METALLURGICAL PARALLEL SHEARS

Бычков Игорь Владимирович,
аспирант направления «Математика и механика», e-mail: tmmiok@yandex.ru

Igor V. Bychkov, post-graduate student

Дворников Леонид Трофимович,
д.т.н., профессор, e-mail: tmmiok@yandex.ru

Leonid T. Dvornikov, Doctor of Technical Sciences, Professor

Жуков Иван Алексеевич, д.т.н., доцент, e-mail: tmmiok@yandex.ru

Ivan A. Zhukov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Сибирский государственный индустриальный университет, 654007, Россия, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, тел.

Siberian State Industrial University, 42 Kirova street, Novokuznetsk, 654007, Russian Federation.

Аннотация: В кинематических цепях механизмов нередко получают применение плоские четырёхзвенные группы Ассур с замкнутым изменяемым контуром, исследовать которые стандартными методами теории машин и механизмов затруднительно. Целью настоящей работы является, в частности, аналитическое обоснование такого метода, который позволяет исследовать группу из четырёх звеньев, одна из входных кинематических пар которой выполнена поступательной.

Метод исследования заключается в определении точки пересечения двух независимых, т. е. не имеющих общих кинематических пар, звеньев. Относительно этой точки определяется тангенциальная составляющая реакции в одном из шарниров. Зная направление нормальной составляющей этой реакции и направление реакции в поступательной паре, определяются все неизвестные внешние силы путём построения плана сил.

Данный метод был применён при исследовании аналогичной группы звеньев, входящих в состав механизма ножниц с параллельными ножами. Описанный в данной работе метод может быть применён для решения других подобных задач.

Ключевые слова: ножницы, параллельные ножи, металлургическое оборудование, кинетостатический анализ, четырёхзвенная группа.

Abstract: In the kinematic chains of mechanisms, flat four-link Assur groups with a closed variable contour are often used, which are difficult to investigate by standard methods of the theory of machines and mechanisms. The aim of this paper is, in particular, the analytical justification of such a method, which makes it possible to investigate a group of four links, one of the input kinematic pairs of which is made translational.

The method of investigation consists in determining the point of intersection of two independent links, that is, the links having no common kinematic pairs. Relative to this point, the tangential component of the reaction in one of the hinges is determined. Knowing the direction of the normal component of this reaction and the direction of the reaction in the progressive pair, we determine all unknown external forces by constructing a plan of forces.

This method was applied in the study of a similar group of links that are part of the mechanism of parallel shears. The method described in this paper can be used to solve other similar problems.

Key words: parallel shears, metallurgical equipment, kinetostatic analysis, four-link group.

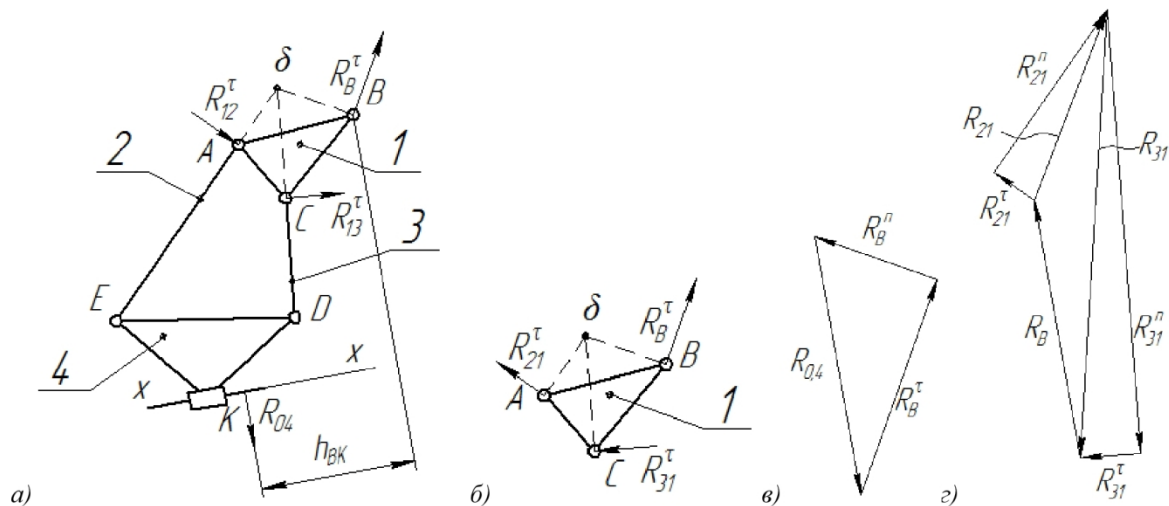


Рисунок 1 - Четырёхзвенная группа Ассура и её силовое исследование:
 а) группа Ассура; б) звено 1; в) план сил группы Ассура; г) план сил звена 1
 Figure 1 - The four-link Assur group and its force study:
 а) Assur group; б) link 1; в) Assur force plan; г) link 1 force plan

В кинематических цепях механизмов нередко получают применение плоские четырёхзвенные группы Ассура с замкнутым изменяемым контуром, исследовать которые стандартными методами теории машин и механизмов затруднительно [1, 2, 3]. Целью настоящей работы является, в частности, аналитическое обоснование такого метода, который позволяет исследовать группу из четырёх звеньев, одна из входных кинематических пар которой выполнена поступательной.

Исследуемый механизм приведён на рисунке 1,а, где обозначены трёхпарные звенья 1 и 4, соединяющие их звенья 2 и 3. Трёхпарное звено 4 считается выходной поступательной парой К.

Для упрощения изложения метода расчёта принимается, что силы тяжести и силы инерции звеньев равны нулю.

Прежде всего обратимся к звеньям 2, 3. Из уравнения суммы моментов сил звена 2 относительно шарнира Е легко определить тангенциальную составляющую реакции звена 1 на звено 2 - R_{12}^t . Аналогично может быть определена тангенциальная составляющая реакции звена 1 на звено 3 - R_{13}^t .

Для определения тангенциальной составляющей реакции в шарнире В, найдём точку δ пересечения перпендикуляров к каждой реакции R_{12}^t и R_{13}^t и составим уравнение равновесия звена 1 относительно точки δ (рис. 1,б), при этом учтём, что

$$\begin{aligned} \overline{R_{21}^t} &= -\overline{R_{12}^t}; \overline{R_{31}^t} = -\overline{R_{13}^t}; \\ \Sigma M(\delta) &= 0; \\ R_{21}^t \cdot l_{A\delta} + R_{31}^t \cdot l_{C\delta} - R_B^t \cdot l_{B\delta} &= 0; \\ R_B^t &= (R_{21}^t \cdot l_{A\delta} + R_{31}^t \cdot l_{C\delta}) / l_{B\delta}. \end{aligned}$$

Рассмотрим далее всю группу в целом. Реакция стойки в ползуне 4 перпендикулярна направлению оси х-х. Так как направления реакций $\overline{R_B^n}$ и $\overline{R_{04}}$ известны, составляется план сил для всей группы (рис. 1,в) и определяется реакция R_{04} , а также реакция R_B . $\Sigma F_{(zp,1-4)} = 0$;

$$\overline{R_B^n} + \overline{R_B^t} + \overline{R_{04}} = 0.$$

После определения реакции в поступательной паре, найдём точку её приложения. Для этого составим уравнение суммы моментов сил всей группы относительно точки В

$$\begin{aligned} \Sigma M(B) &= 0; \\ R_{0,4} \cdot h_{BK} &= 0; \end{aligned}$$

Так как никаких других сил кроме $R_{0,4}$ в группе звеньев 1-4, создающих момент сил относительно точки В нет, то $h_{BK} = 0$.

Составляется план сил для звена 1 и определяется реакции в точках А и С - $R_{3,1}$ и $R_{2,1}$ (рис. 2,г). $\Sigma F_{(3\delta,1)} = 0$;

$$\overline{R_B} + \overline{R_{21}^n} + \overline{R_{21}^t} + \overline{R_{31}^n} + \overline{R_{31}^t} = 0.$$

Реакции в точках D и E определяются из плана сил звеньев 2 и 3.

Описанную выше методику исследования можно применить к механизму ножниц с параллельными ножами для резки металла. На рисунке 2 представлен механизм ножниц с обозначенными звеньями (1...11), угловыми скоростями (ω), угловыми ускорениями (ϵ), моментами инерции (М).

Механизм работает следующим образом: ножи 10 и 11 движутся параллельно друг другу в вертикальной плоскости; каждый из ножей через двойные шатуны 6-7 и 8-9 связывается с трёхшарнирными шатунами 4 и 5, приводимыми в движение от ведущего кривошипа 1 через звенья 2 и 3.

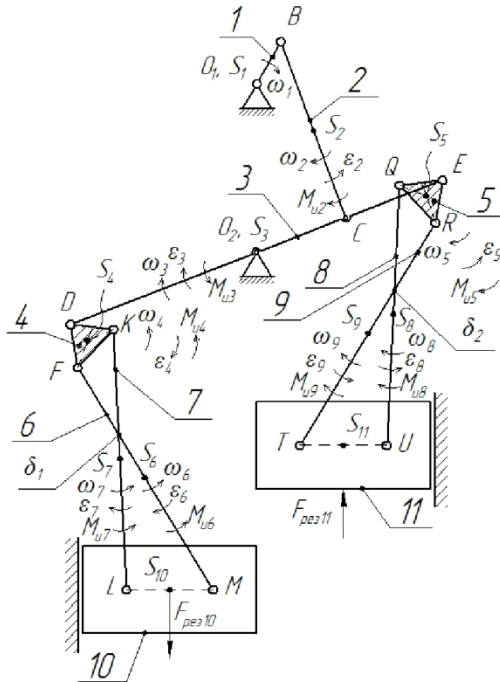


Рисунок 2 - Механизм ножниц с параллельными ножами

Figure 2 - The mechanism of parallel shears

Рассмотрим структурную группу Ассур, состоящую из звеньев 4, 6, 7, 10 (рис. 3). Для силового расчёта, к данной группе звеньев прикладываются все внешние силы: силы инерции $F_{иi}$, силы тяжести G_i , реакция направляющей на ползун $R_{0/10}$, сила воздействия звена 3 на звено 4 - R_{34} , сила резания, действующая на ползун (нож) 10 - $F_{рез10}$.

Обозначается точка пересечения шатунов 6 и 7 точкой δ_1 . Точки D и δ_1 соединяются отрезком $D\delta_1$ и измеряется его длина $l_{D\delta_1}$. Реакция R_{34} , раскладывается на нормальную R_{34}^n , параллельную отрезку $D\delta_1$ и тангенциальную R_{34}^t , перпендикулярную отрезку $D\delta_1$.

Сила $F_{рез10}$ направлена вертикально вниз и проходит через середину ползуна 10, силы тяжести G проходят через центры тяжести звеньев и направлены вертикально вниз, силы инерции противоположны направлениям ускорений центров тяжести звеньев и смещены относительно центра тяжести на величину $h_{иi}$ в ту сторону, чтобы сохранить направление момента инерции M .

Прежде всего обратимся к звеньям 6 и 7. Из уравнения суммы моментов сил звена 6 относительно шарнира M легко определить тангенциальную составляющую реакции звена 4 на звено 6 - R_{46}^t .

$$\begin{aligned} \Sigma M(M) &= 0; & R_{46}^t \cdot l_{FM} - F_{и6} \cdot l_{и6M} - G_6 \cdot l_{G6M} &= 0; \\ R_{46}^t &= (F_{и6} \cdot l_{и6M} + G_6 \cdot l_{G6M}) / l_{FM}. \end{aligned}$$

Аналогично может быть определена тан-

генциальная составляющая реакции звена 4 на звено 7 - R_{47}^t .

$$\begin{aligned} \Sigma M(L) &= 0; & R_{47}^t \cdot l_{KL} - F_{и7} \cdot l_{и7L} - G_7 \cdot l_{G7L} &= 0; \\ R_{47}^t &= (F_{и7} \cdot l_{и7L} + G_7 \cdot l_{G7L}) / l_{KL}. \end{aligned}$$

Для определения тангенциальной составляющей реакции в шарнире D, составим уравнение равновесия звена 4 относительно точки δ_1 (рис. 4), при этом учтём, что

$$\begin{aligned} R_{46}^t &= -R_{64}^t; & R_{47}^t &= -R_{74}^t; \\ \Sigma M(\delta_1) &= 0; \\ R_{34}^t \cdot l_{D\delta_1} - G_4 \cdot l_{G4\delta_1} - F_{и4} \cdot l_{и4\delta_1} - R_{64}^t \cdot l_{F\delta_1} - R_{74}^t \cdot l_{K\delta_1} &= 0; \\ R_{34}^t &= (G_4 \cdot l_{G4\delta_1} + F_{и4} \cdot l_{и4\delta_1} + R_{64}^t \cdot l_{F\delta_1} + R_{74}^t \cdot l_{K\delta_1}) / l_{D\delta_1}. \end{aligned}$$

Теперь все тангенциальные составляющие внешних сил звена 4 известны.

Реакция направляющей на ползун $R_{0/10}$ расположена горизонтально, но её направление и точка приложения не известны. Строится план внешних сил для структурной группы Ассур звеньев 4, 6, 7, 10 и определяются реакции $R_{0/10}$ и R_{34} .

$$\begin{aligned} \Sigma F_{(zp.4,6,7,10)} &= 0; \\ \overline{R_{34}^n} + \overline{R_{34}^t} + \overline{R_{0/10}} + \overline{R_{0/10}} + \overline{G_4} + \overline{G_6} + \overline{G_7} + \overline{G_{10}} + \overline{F_{и4}} + \overline{F_{и6}} + \overline{F_{и7}} + \overline{F_{и10}} + \overline{F_{рез10}} &= 0. \end{aligned}$$

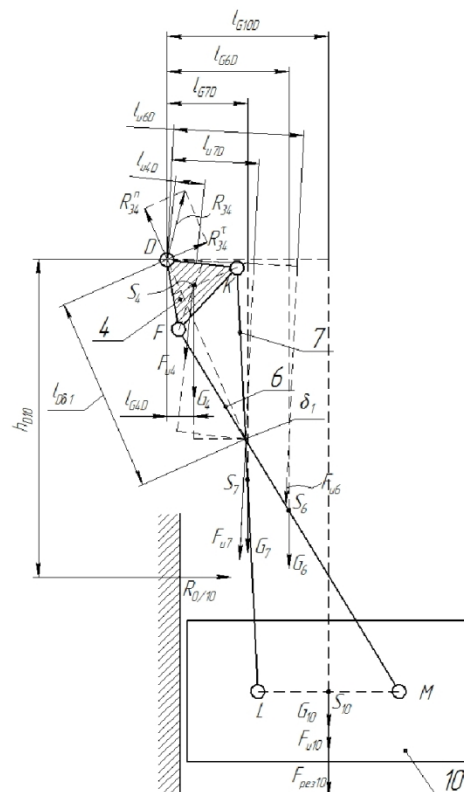


Рисунок 3 - Исследование группы звеньев 4, 6, 7, 10
 Figure 3- The study of the group of links 4, 6, 7, 10

После определения реакции в поступательной паре, найдём точку её приложения. Для этого составим уравнение суммы моментов сил всей группы относительно точки D

$$\Sigma M(D) = 0;$$

$$G_4 \cdot l_{G4D} + G_6 \cdot l_{G6D} + G_7 \cdot l_{G7D} + G_{10} \cdot l_{G10D} + F_{u4} \cdot l_{u4D} + F_{u6} \cdot l_{u6D} + F_{u7} \cdot l_{u7D} + F_{u10} \cdot l_{u10D} + F_{10pez} \cdot l_{G10D} - R_{0/10} \cdot h_{10D} = 0$$

отсюда

$$h_{10D} = (G_4 \cdot l_{G4D} + G_6 \cdot l_{G6D} + G_7 \cdot l_{G7D} + G_{10} \cdot l_{G10D} + F_{u4} \cdot l_{u4D} + F_{u6} \cdot l_{u6D} + F_{u7} \cdot l_{u7D} + F_{u10} \cdot l_{u10D} + F_{10pez} \cdot l_{G10D}) / R_{0/10}$$

Составляется план сил для звена 4 и определяются реакции в точках K и F - R_{64} и R_{74} . $\Sigma F_{(36,4)} = 0$;

$$\overline{R_{34}} + \overline{R_{64}^n} + \overline{R_{64}^t} + \overline{R_{74}^n} + \overline{R_{74}^t} + \overline{G_4} + \overline{F_{u4}} = 0.$$

Реакции в точках L и M определяются из плана сил звеньев 7 и 6 соответственно.

Таким образом, был проведён кинестатический анализ структурной группы Ассура звеньев 4, 6, 7, 10 механизма ножниц с параллельными ножами. По этой же методике можно исследовать структурную группу звеньев 5, 8, 9, 11, а также других подобных механизмов.

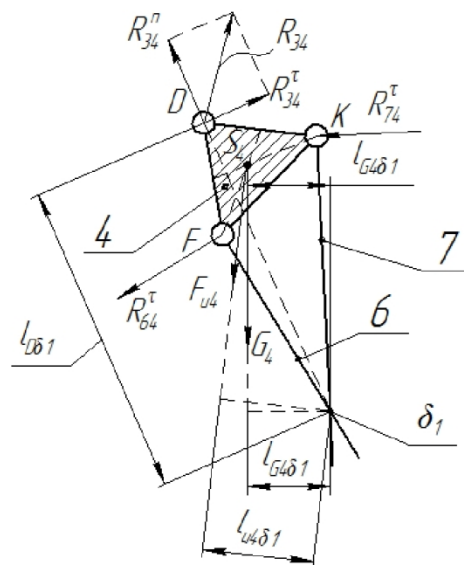


Рисунок 4 - Звено 4 с приложенными к нему силами

Figure 4- Link 4 with forces applied to it

Описанный в данной работе метод может быть применён для решения других подобных задач [4-18].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дворников Л. Т. О кинематической разрешимости плоской четырёхзвенной группы Ассура четвёртого класса графо-аналитическим методом/ Л. Т. Дворников // Известия ВУЗов, "Машиностроение", №12, 2004. - с. 9-15.
2. Дворников Л. Т. Исследование плоских рычажных механизмов: учебное пособие / Л. Т. Дворников, Э. Я. Живаго, Н. О. Адамович. - Издание 2-ое. - Новокузнецк: СибГИУ, 2004. - 80 с.
3. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин: учебное пособие для студентов вузов / И. И. Артоболевский. - 4-е изд., исправленное. - М.: Машиностроение, 1996. - 592 с.
4. Развитие методов структурного анализа плоских сложных стержневых кинематических цепей / Дворников Л. Т., Гудимова Л. Н. X. International Conference on the Theory of Machines and Mechanisms, Technikal University of liberec departament of textile machine design, septwmber 2-4, 2008 - Liberec, Czech republic, с. 205-212.
5. Dynamic analysis of runners driving hinged mechanisms with two degrees of freedom of loop-forming elements of warp-knitting machines / N. Davitashvili, L. Demetrasze, L. Kapanadze, N. Kapanadze // X. International Conference on the Theory of Machines and Mechanisms, Technikal University of liberec departament of textile machine design, septwmber 2-4, 2008 - Liberec, Czech republic, s. 177-185.
6. Study on dynamic behavior of yarns wound on rotating circular disks / Dumitru Mihaescu, Florina-Liliana Buzescu // X. International Conference on the Theory of Machines and Mechanisms, Technikal University of liberec departament of textile machine design, septwmber 2-4, 2008 - Liberec, Czech republic, s. 399-406.
7. Prispevek k dynamickemu rieseniu mechanismu pre orientaciu / Vavrincikova Viola // X. International Conference on the Theory of Machines and Mechanisms, Technikal University of liberec departament of textile machine design, septwmber 2-4, 2008 - Liberec, Czech republic, s. 685-692.
8. Mechanika prenosu pohybu celnimi stenami trecich kotoucu s rovnobeznymi osami / Rudolf Vrzala, Iva Petrikova // X. International Conference on the Theory of Machines and Mechanisms, Technikal University of liberec departament of textile machine design, septwmber 2-4, 2008 - Liberec, Czech republic, s. 703-708.
9. Problem of Structural Synthesis of Mechanisms and Ways of Its Decision / L. T. Dvornikov // Proceedings 11 th World Congress in Mechanism and Machine Science, April 1-4, 2004, Tianjin, China, China Machine

Press, edited by Tian Huang.

10. Kinematic Synthesis of Planar Geared For-Bar Linkages with Prescribed Dwell Characteristics / Tianjie Li // Proceedings 11 th World Congress in Mechanism and Machine Science, April 1-4, 2004, Tianjin, China, China Machine Press, edited by Tian Huang.

11. Study on Self-Adjusting Property and Self-Adjusting Structures for Planar Crank-Rocker Mechanism / Peiwen An, Maolin Huang, Li Du, Zhen He // Proceedings 11 th World Congress in Mechanism and Machine Science, April 1-4, 2004, Tianjin, China, China Machine Press, edited by Tian Huang.

12. The Kinematic of Complex Mechanism with the Kinematic Group of the Third and Fourth Class / Miodrag Zlokolic, Worawut Wisutmethangoon, Panyarak Ngamsritragul, Maja Cavie, Milan Kostc // Proceedings 11 th World Congress in Mechanism and Machine Science, April 1-4, 2004, Tianjin, China, China Machine Press, edited by Tian Huang.

13. Kinematic Actuated and Experimental Analysis of Three DOF Spatial Parallel Mechanisms / Jun Nagano // Proceedings 11 th World Congress in Mechanism and Machine Science, April 1-4, 2004, Tianjin, China, China Machine Press, edited by Tian Huang.

14. Kinematic Performance Analysis for Planar Parallel Mechanism 3RRR / Xijuan Guo, Sijun Zhu, Meisheng Yu, Lingfu Kong // Proceedings 11 th World Congress in Mechanism and Machine Science, April 1-4, 2004, Tianjin, China, China Machine Press, edited by Tian Huang.

15. Kinematic Analysis and Simulation of Metamorphic Mechanisms / Duanling Li, Hanxu Sun, Qingxuan Jia, J. S, Dai, Zhiguo Ren, Xilun Ding, Feng Gao // Proceedings 11 th World Congress in Mechanism and Machine Science, April 1-4, 2004, Tianjin, China, China Machine Press, edited by Tian Huang.

16. Kinematics of the Tool in the Process of Polygonal Holes Boring / Miodrag Zlokolic, Worawut Wisutmethangoon, Panyarak Ngamsritragul, Bogdan Sovilj, David Braun // Proceedings 11 th World Congress in Mechanism and Machine Science, April 1-4, 2004, Tianjin, China, China Machine Press, edited by Tian Huang.

17. Method of Research of Kinematic in the Mechanisms of Complexity Structure / Tadeusz Mlynarski // Proceedings 11 th World Congress in Mechanism and Machine Science, April 1-4, 2004, Tianjin, China, China Machine Press, edited by Tian Huang.

18. New Algorithm for Determining the Mobility of Mechanisms / Tadeusz Mlynarski // Proceedings 11 th World Congress in Mechanism and Machine Science, April 1-4, 2004, Tianjin, China, China Machine Press, edited by Tian Huang.

REFERENCES

1. Dvornikov L. T. On the kinematic solvability of a flat four-link Assur group of the fourth class by the graphical-analytical method / L. T. Dvornikov // Proceedings of higher educational institutions, " Mechanical engineering", №12, 2004. - с. 9-15.

2. Dvornikov L. T. Investigation of flat lever mechanisms: a tutorial / L. T. Dvornikov, E. Y. Zhivago, N. O. Adamovich. - Edition 2-nd. - Novokuznetsk: Siberian State Industrial University, 2004. – 80 p.

3. Artobolevsky I. I. Theory of Mechanisms and Machines: A Textbook for University Students / I. I. Artobolevsky. - 4-nd revised edition. - M.: Mechanical engineering, 1996. - 592 p.

4. Development of methods for structural analysis of planar complex rod kinematic chains / Dvornikov L. T., Gudimova L. N. X. International Conference on the Theory of Machines and Mechanisms, Technikal University of liberec departament of textile machine design, septwmber 2-4, 2008 - Liberec, Czech republic, Pp. 205-212.

5. Dynamic analysis of runners driving hinged mechanisms with two degrees of freedom of loop-forming elements of warp-knitting machines / N. Davitashvili, L. Demetrasze, L. Kapanadze, N. Kapanadze // X. International Conference on the Theory of Machines and Mechanisms, Technikal University of liberec departament of textile machine design, septwmber 2-4, 2008 - Liberec, Czech republic, p. 177-185.

6. Study on dynamic behavior of yarns wound on rotating circular disks / Dumitru Mihaescu, Florina-Liliana Buzescu // X. International Conference on the Theory of Machines and Mechanisms, Technikal University of liberec departament of textile machine design, septwmber 2-4, 2008 - Liberec, Czech republic, p. 399-406.

7. Prispevok k dynamickemu rieseniu mechanizmu pre orientaciu / Vavrincikova Viola // X. International Conference on the Theory of Machines and Mechanisms, Technikal University of liberec departament of textile machine design, septwmber 2-4, 2008 - Liberec, Czech republic, p. 685-692.

8. Mechanika prenosu pohybu celnimi stenami trecich kotoucu s rovnobeznymi osami / Rudolf Vrzala, Iva

Petrikova // X. International Conference on the Theory of Machines and Mechanisms, Technical University of Liberec department of textile machine design, september 2-4, 2008 - Liberec, Czech republic, p. 703-708.

9. Problem of Structural Synthesis of Mechanisms and Ways of Its Decision / L. T. Dvornikov // Proceedings 11 th World Congress in Mechanism and Machine Science, April 1-4, 2004, Tianjin, China, China Machine Press, edited by Tian Huang.

10. Kinematic Synthesis of Planar Geared For-Bar Linkages with Prescribed Dwell Characteristics / Tianjie Li // Proceedings 11 th World Congress in Mechanism and Machine Science, April 1-4, 2004, Tianjin, China, China Machine Press, edited by Tian Huang.

11. Study on Self-Adjusting Property and Self-Adjusting Structures for Planar Crank-Rocker Mechanism / Peiwen An, Maolin Huang, Li Du, Zhen He // Proceedings 11 th World Congress in Mechanism and Machine Science, April 1-4, 2004, Tianjin, China, China Machine Press, edited by Tian Huang.

12. The Kinematic of Complex Mechanism with the Kinematic Group of the Third and Fourth Class / Miodrag Zlokolic, Worawut Wisutmethangoon, Panyarak Ngamsritragul, Maja Cavie, Milan Kostic // Proceedings 11 th World Congress in Mechanism and Machine Science, April 1-4, 2004, Tianjin, China, China Machine Press, edited by Tian Huang.

13. Kinematic Actuated and Experimental Analysis of Three DOF Spatial Parallel Mechanisms / Jun Nagano // Proceedings 11 th World Congress in Mechanism and Machine Science, April 1-4, 2004, Tianjin, China, China Machine Press, edited by Tian Huang.

14. Kinematic Performance Analysis for Planar Parallel Mechanism 3RRR / Xijuan Guo, Sijun Zhu, Meisheng Yu, Lingfu Kong // Proceedings 11 th World Congress in Mechanism and Machine Science, April 1-4, 2004, Tianjin, China, China Machine Press, edited by Tian Huang.

15. Kinematic Analysis and Simulation of Metamorphic Mechanisms / Duanling Li, Hanxu Sun, Qingxuan Jia, J. S. Dai, Zhiguo Ren, Xilun Ding, Feng Gao // Proceedings 11 th World Congress in Mechanism and Machine Science, April 1-4, 2004, Tianjin, China, China Machine Press, edited by Tian Huang.

16. Kinematics of the Tool in the Process of Polygonal Holes Boring / Miodrag Zlokolic, Worawut Wisutmethangoon, Panyarak Ngamsritragul, Bogdan Sovilj, David Braun // Proceedings 11 th World Congress in Mechanism and Machine Science, April 1-4, 2004, Tianjin, China, China Machine Press, edited by Tian Huang.

17. Method of Research of Kinematic in the Mechanisms of Complexity Structure / Tadeusz Mlynarski // Proceedings 11 th World Congress in Mechanism and Machine Science, April 1-4, 2004, Tianjin, China, China Machine Press, edited by Tian Huang.

18. New Algorithm for Determining the Mobility of Mechanisms / Tadeusz Mlynarski // Proceedings 11 th World Congress in Mechanism and Machine Science, April 1-4, 2004, Tianjin, China, China Machine Press, edited by Tian Huang.

Поступило в редакцию 06.09.2018
Received 06 September 2018