

Программная реализация математической модели кинетостатического расчета плоских рычажных механизмов

Максим А. Васечкин	¹	vmax77@mail.ru
Екатерина В. Матвеева	¹	katrin_vgta@mail.ru
Александр С. Сидоренко	²	sas1.vrn@mail.ru
Евгений Д. Чертов	¹	ched@vsuet.ru

¹ кафедра технической механики, Воронеж. гос. ун-т. инж. техн., пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

² кафедра общепрофессиональных дисциплин, Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил «Военная воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», ул. Старых Большевиков, 54а, г. Воронеж, 394064, Россия

Реферат. Глобальная компьютеризация предопределила доминирующее положение аналитических методов исследования механизмов. В результате этого кинетостатический анализ механизмов с помощью пакетов прикладных программ является важной частью научной и практической деятельности инженеров и конструкторов. Поэтому программная реализация математических моделей кинетостатического расчета механизмов представляет практический интерес. На языке TurboPascal разработаны компьютерные процедуры, вычисляющие усилия в кинематических парах в группах Ассура (ГА) и уравнивающую силу на начальном звене. Перед применением соответствующих вычислительных процедур необходимо знать все внешние силы и моменты, действующие на ГА, а также определить силы инерции и моменты сил инерции. Сам процесс вычислений и построений положений механизма можно представить следующим образом. Организуется цикл, в котором вычисляется положение начального звена механизма. Затем вычисляются положения остальных звеньев механизма путем обращения к соответствующим процедурам модуля DIADA по ГА. Используя графический режим компьютера, выводим на дисплей положение механизма. Вычисляем силы инерции и моменты от сил инерции. Обращаясь к соответствующим процедурам модуля, вычисляем все усилия в кинематических парах и уравнивающую силу на начальном звене. В каждой кинематической паре строим силы и их направления при помощи простейших графических процедур. Величины этих сил и их направления выводятся в специальном окне с текстовым режимом. В работе приводятся листинги тестовой программы MyTest, являющейся примером использования вычислительных возможностей разработанного модуля. В качестве проверки вычислений процедурами модуля в программе приводится пример вычисления уравнивающей силы по методу Жуковского (рычаг Жуковского).

Ключевые слова: программа, математическая модель, кинетостатический расчет, группы Ассура

Program realization of mathematical model of kinetostatical calculation of flat lever mechanisms

Maksim A. Vasechkin	¹	vmax77@mail.ru
Ekaterina V. Matveeva	¹	katrin_vgta@mail.ru
Aleksandr S. Sidorenko	²	sas1.vrn@mail.ru
Evgenii D. Chertov	¹	ched@vsuet.ru

¹ technical mechanics department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

² all-professional disciplines department, Russian air force military educational and scientific center "Air Force academy named after professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin", Starykh Bolshevikov str., 54a, Voronezh, Russia

Summary. Global computerization determined the dominant position of the analytical methods for the study of mechanisms. As a result, kinetostatics analysis of mechanisms using software packages is an important part of scientific and practical activities of engineers and designers. Therefore, software implementation of mathematical models kinetostatical calculating mechanisms is of practical interest. The mathematical model obtained in [1]. In the language of Turbo Pascal developed a computer procedure that calculates the forces in kinematic pairs in groups Assur (GA) and a balancing force at the primary level. Before use appropriate computational procedures it is necessary to know all external forces and moments acting on the GA and to determine the inertial forces and moments of inertia forces. The process of calculations and constructions of the provisions of the mechanism can be summarized as follows. Organized cycle in which to calculate the position of an initial link of the mechanism. Calculate the position of the remaining links of the mechanism by referring to relevant procedures module DIADA in GA [2,3]. Using the graphics mode of the computer displaying on the display the position of the mechanism. The computed inertial forces and moments of inertia forces. Turning to the corresponding procedures of the module, calculated all the forces in kinematic pairs and the balancing force at the primary level. In each kinematic pair build forces and their direction with the help of simple graphical procedures. The magnitude of these forces and their direction are displayed in a special window with text mode. This work contains listings of the test programs MyTest, is an example of using computing capabilities of the developed module. As a check on the calculation procedures of module in the program is reproduced an example of calculating the balancing forces according to the method of Zhukovsky (Zhukovsky lever).

Keywords: programm, mathematical model, kinetostatical calculation, groups of Assur

Для цитирования

Васечкин М. А., Матвеева Е. В., Сидоренко А. С., Чертов Е. Д. Программная реализация математической модели кинетостатического расчета плоских рычажных механизмов // Вестник ВГУИТ. 2016. № 4. С. 85–89. doi:10.20914/2310-1202-2016-4-85-89

For citation

Vasechkin M. A., Matveyeva E. V., Sidorenko A. S., Chertov Ye. D. Program realization of mathematical model of kinetostatical calculation of flat lever mechanisms. *Vestnik VSUET* [Proceedings of VSUET]. 2016. no. 4. pp. 85–89. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2016-4-85-89

Введение

Глобальная компьютеризация предопределила доминирующее положение аналитических методов исследования механизмов [1–10]. В результате этого кинестатический анализ механизмов с помощью пакетов прикладных программ является важной частью научной и практической деятельности инженеров и конструкторов. Поэтому программная реализация математических моделей кинестатического расчета механизмов представляет практический интерес. В качестве языка программирования был выбран Турбо Паскаль фирмы Borland.

В работе [1] получена математическая модель с процедурами расчета силовых характеристик плоских рычажных механизмов, имеющих в своем составе кроме начального

звена хотя бы одну двухповодковую группу Ассура. Расчетные схемы показаны на рисунке 1.

На рисунке 1 приняты следующие обозначения: F_{12} – сила, действующая на начальное звено от группы Ассура; F_{10} – сила, действующая на начальное звено от стойки; F_{yp} – уравновешивающая сила; l_1, l_2, l_3 – длины начального, второго и третьего звеньев; $F_{in2}, M_{in2}, F_{in3}, M_{in3}$ – сила инерции и момент от сил инерции на втором и третьем звеньях, соответственно; F_2, M_2, F_3, M_3 – внешние сила и момент, действующие на втором и третьем звеньях, соответственно; $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ – углы наклона к оси абсцисс начального, второго и третьего звеньев, соответственно; s_2, s_3, p_2, p_3 – центры масс и точки приложения сил соответствующих звеньев.

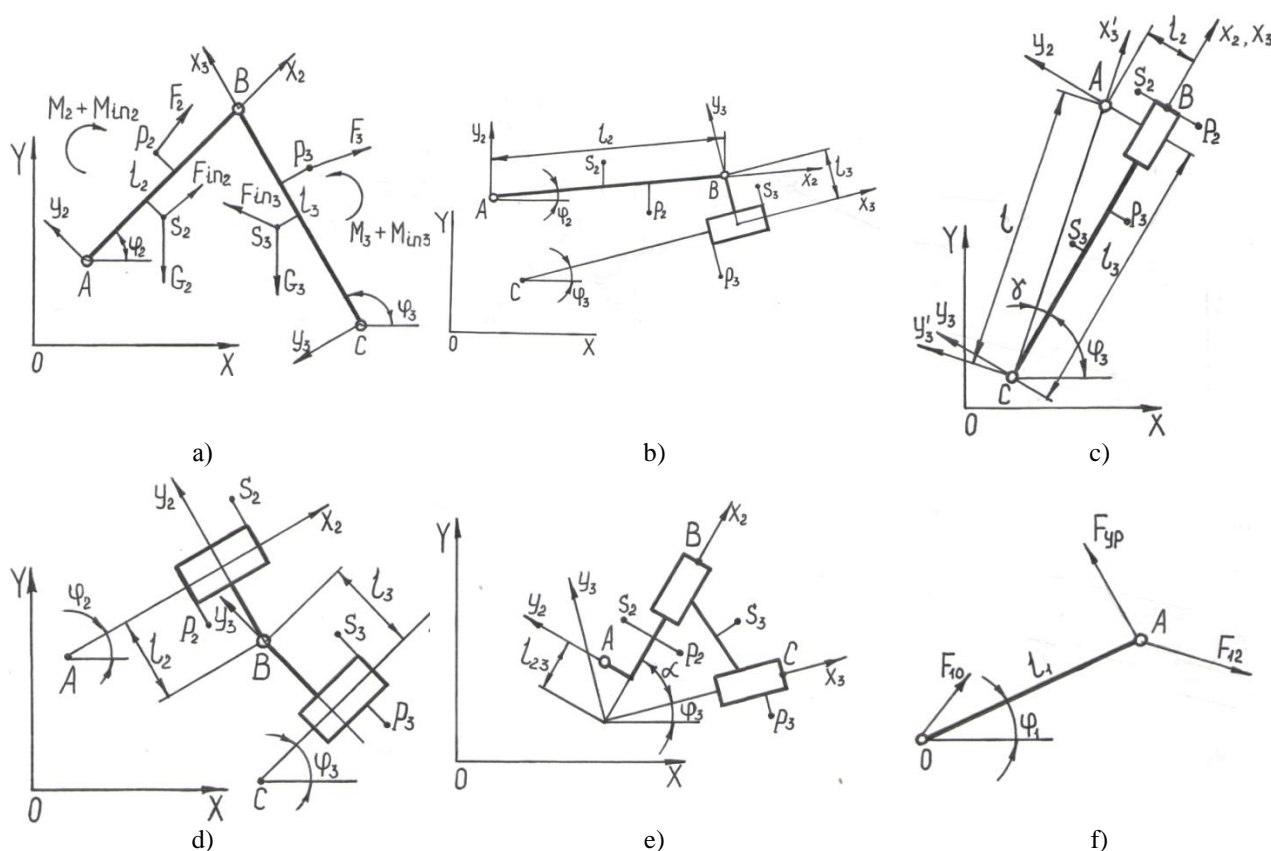


Рисунок 1. Расчетные схемы двух поводковых групп Ассура: а – первого вида; б – второго вида; в – третьего вида; д – четвертого вида; е – пятого вида; ф – ведущее звено

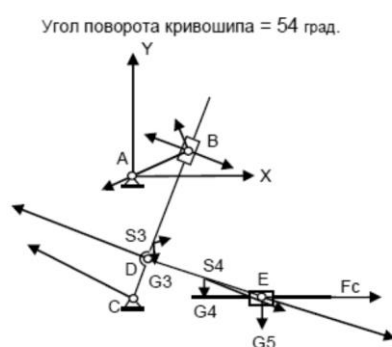
Figure 1. Settlement schemes of two flood groups of Assur: a – first look; b – second look; c – third look; d – fourth look; e – fifth look; f – leading link

По результатам работы [1] разработаны компьютерные процедуры, вычисляющие усилия в кинематических парах в группах Ассура и уравновешивающую силу на начальном звене. Перед применением соответствующих вычислительных процедур необходимо знать все внешние силы и моменты, действующие на группу Ассура, а также определить силы инерции и моменты сил инерции. Для их определения, прежде всего,

необходимо воспользоваться программным модулем DIADA [2,3], в котором находятся процедуры, вычисляющие кинематические характеристики групп Ассура. Определив таким образом ускорения центров масс звеньев и угловые ускорения звеньев, можно получить информацию о величинах и направлениях сил инерции и моментов сил инерции.

Сам процесс вычислений и построений положений механизма можно представить следующим образом. Организуется цикл, в котором вычисляется положение начального звена механизма. Затем вычисляются положения остальных звеньев механизма путем обращения к соответствующим процедурам модуля DIADA по группам Ассура [2, 3]. Используя графический режим компьютера, выводим на дисплей положение механизма. Вычисляем силы инерции и моменты от сил инерции. Обращаясь к соответствующим процедурам модуля KNTST, вычисляем все усилия в кинематических парах и уравнивающую силу на начальном звене. В каждой кинематической паре строим силы и их направления при помощи простейших графических процедур. Величины этих сил и их направления выводятся в специальном окне с текстовым режимом. В работе приводятся листинги модуля KNTST и тестовой программы MyTest, являющейся примером использования вычислительных возможностей разработанного модуля KNTST.

В качестве проверки вычислений процедурами модуля в программе приводится пример вычисления уравнивающей силы по методу Жуковского (рычаг Жуковского). На рисунке 2 представлен пример работы программы MyTest.



Выход из программы – Esc

Фрагмент листинга программы примера расчета механизма¹

```
ProgramMyTest;
{Силовой расчет механизма}
Uses Crt, Graph, Diada, GDiada, Kntst,
F_GrText;
Label
Start;
Const
g=9.81; n = 360;
-----
-----
writeln('Fin5=', Fin5:12:6, 'Угол
=':11>alfafin5*180/pi:5:2);
SetWindow(41,26,80,28,2,'Сила
сопротивления', true, false, false);
Writeln('Fc=', Fc:12:6);
ch:= readkey;
if ch = #27 then exit;
if i ≠ n then ClearDevice;
if fi3 < fi3min then begin fi3min:=
fi3; ifi3min:= i end;
if fi3 > fi3max then begin fi3max:=
fi3; ifi3max:= i end;
end;
if readkey = #27 then exit else goto
start;
GraphWriteOff;
FreeMem (p, FileSize(f));
CloseGraph;
writeln('fi3min=', fi3min*180/pi:10:6,
'ifi3min= ', ifi3min);
writeln('fi3max=', fi3max*180/pi:10:6,
'ifi3max= ' ifi3max);
readkey;
End. {Main}
if ch = #27 then exit else goto start;
End.
```

Расчетные данные		
F50=	98.560347	Угол= 270.00
Hx5=	0.000000	
F45=	1159.606853	Угол= 342.75
F43=	1231.704974	Угол= 159.17
F30=	970.691007	Угол= 153.98
F32=	400.430211	Угол= 159.21
Hx3=	0.000000	
F21=	400.430211	Угол= 159.21
F10=	284.204048	Угол= 204.00
Fyp=	282.005825	Угол= 114.00
Fyp1=	282.005825	Рычаг Жуковского
Силы инерции и моменты		
Fin3=	96.967168	Угол= 10.18
Момент от сил инерции=	-16.629837	
Fin4=	43.945234	Угол= 5.22
Момент от сил инерции=	-0.201592	
Fin5=	107.945234	Угол= 360.00
Сила сопротивления		
Fc=	1000.000000	

Рисунок 2. Пример работы программы MyTest

Figure 2. Example of work of the program MyTest

¹ Полный текст программы приведен на сайте журнала в разделе дополнительные материалы статьи URL: www.vestnik-vsuet.ru

Использование библиотечных процедур модуля KNTST, позволяет сравнительно просто организовать имитацию движения механизма, рассчитать реакции в кинематических парах, вычислить уравнивающую силу и построить план сил в каждом положении механизма. Если необходимо значения силовых характеристик можно вывести на дисплей. Такой подход обеспечивает эффективность при проведении кинетостатического расчета механизма на основе технического задания.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Сидоренко А.С., Потапов А.И. Математическая модель кинетостатического расчета плоских рычажных механизмов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2016. № 1. С. 70–78.
- 2 Васечкин М.А., Потапов А.И., Сидоренко А.С., Чертов Е.Д. Программная реализация математической модели кинематического расчета плоских рычажных механизмов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2016. № 2. С. 1–3.
- 3 Сидоренко А.С., Дубец С.В., Дубец А.В. Компьютерное моделирование и анализ кинематики механизмов второго класса // Сборник статей по материалам Межвузовской НПК курсантов и слушателей "Молодежные чтения памяти Ю.А. Гагарина 20 мая 2014 г." Воронеж: ВУНЦ ВВС "ВВА", 2014. Ч. 2. С. 154–157.
- 4 Доронин Ф.А. Силовой анализ некоторых пространственных конструкций и механизмов с помощью пакета Mathcad // Теория механизмов и машин. 2014. Т. 12. № 23. С. 59–69.
- 5 Мкртычев О.В. Компьютерное моделирование при кинематическом анализе плоских механизмов // Теория Механизмов и Машин. 2012. № 1. Т. 10. С. 46–52.
- 6 Бабичев Д.Т. Компьютерное моделирование работы плоских механизмов и многовариантное конструирование одноступенчатых цилиндрических редукторов // Теория Механизмов и Машин. 2011. № 2. Т. 9. С. 38–47.
- 7 Евграфов А.Н., Петров Г.Н. Компьютерная анимация кинематических схем в программах Excel и Mathcad // Теория Механизмов и Машин. 2008. № 1. Т. 6. С. 71–80.
- 8 Доронин Ф.А., Доев В.С. Исследование движения плоского механизма с помощью пакета Mathcad // Теория Механизмов и Машин. 2011. № 1. Т. 9. С. 77–87.
- 9 Simas H. et al. A new method to solve robot inverse kinematics using Assur virtual chains // Robotica. 2009. V. 27. №. 7. С. 1017–1026.
- 10 Позбелко В.И. Единая теория структуры, структурный синтез и анализ статически определимых механических систем на основе новой формулы подвижности // Теория механизмов и машин. 2013. Т. 11. № 2(22). С. 15–37.

Заключение

Полученное программное обеспечение может быть использовано для подготовки бакалавров по направлениям 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» и 15.03.03 «Прикладная механика» при изучении дисциплин: «Теория машин и механизмов», «Теория механизмов и основы робототехники», «Вычислительная механика».

REFERENCES

- 1 Sidorenko A.S., Potapov A.I. Mathematical model of kinetostatic calculation of flat lever mechanisms. *Vestnik voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tekhnologij* [Proceedings of the Voronezh state university of engineering technologies] 2016, no. 1, pp. 70–78. (in Russian).
- 2 Vasechkin M.A., Potapov A.I., Sidorenko A.S., Chertov E.D. Program realization of mathematical model of kinematic calculation of flat lever mechanisms. *Vestnik VGUET* [Proceedings of VSUET] 2016, no. 2, pp. 1–3 (in Russian).
- 3 Sidorenko A.S., Dubets S.V., Dubets A.V. Computer simulation and analysis of the kinematics of the second class of mechanisms. *Molodezhnye chteniya pamyati Y.A. Gagarina* [Collected articles on materials Interuniversity NPK cadets and students "Youth reading in memory of Yuri Gagarin"] Voronezh, VUNTs VVS "VVA", 2014, part 2, pp. 154–157 (in Russian).
- 4 Doronin F.A. Power analysis of some spatial structures and mechanisms with the help of Mathcad. *Teoriya mekhanizmov I mashin* [Theory of mechanisms and machines] 2014, vol. 12, no. 23, pp. 59–69 (in Russian).
- 5 Mkrtichev O.V. Computer modeling of the kinematic analysis of planar mechanisms. *Teoriya mekhanizmov I mashin* [Theory of mechanisms and machines] 2012, no. 1, vol. 10, pp. 46–52 (in Russian).
- 6 Babichev D.T. Computer simulation of planar mechanisms and contingency construction of single-stage helical gear units. *Teoriya mekhanizmov I mashin* [Theory of mechanisms and machines] 2011, no. 2, vol. 9, pp. 38–47 (in Russian).
- 7 Evgrafov A.N., Petrov G.N. Computer animation kinematic schemes in Excel and Mathcad. *Teoriya mekhanizmov I mashin* [Theory of mechanisms and machines] 2008, no. 1, vol. 6, pp. 71–80 (in Russian).
- 8 Doronin F.A., Doyev V.S. Investigation of the mechanism of movement of the flat with the help of Mathcad. *Teoriya mekhanizmov I mashin* [Theory of mechanisms and machines] 2011, no. 1, vol. 9, pp. 77–87 (in Russian).
- 9 Simas H. et al. A new method to solve robot inverse kinematics using Assur virtual chains. *Robotica*, 2009, vol. 27, no. 7, pp. 1017–1026.
- 10 Pozhbelko V.I. The unified theory of structures, structural synthesis and analysis of statically determinate mechanical systems based on the new formula of mobility. *Teoriya mekhanizmov I mashin* [Theory of mechanisms and machines] 2013, vol. 11, no. 2(22), pp. 15–37. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Максим А. Васечкин к.т.н., доцент, кафедра технической механики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, vmax77@mail.ru

Екатерина В. Матвеева к.т.н., доцент, кафедра технической механики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, katrin_vgta@mail.ru

Александр С. Сидоренко к.т.н., старший преподаватель, кафедра общепрофессиональных дисциплин, Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил «Военная воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», ул. Старых Большевиков, 54а, г. Воронеж, 394064, Россия, sas1.vrn@mail.ru

Евгений Д. Чертов д.т.н., профессор, кафедра технической механики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ched@vsuet.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Максим А. Васечкин предложил алгоритм программной реализации математической модели кинетостатического расчёта плоских рычажных механизмов, выполнил отладку программы для расчёта уравнивающих сил по методу Жуковского

Екатерина В. Матвеева провела аналитический обзор информационных источников по исследуемой проблеме, выполнила корректировку и подачу рукописи в редакцию

Александр С. Сидоренко составил описание математической модели кинетостатического расчёта плоских рычажных механизмов, разработал программное обеспечение по реализации математической модели кинетостатического расчёта плоских рычажных механизмов, написал рукопись, несёт ответственность за плагиат

Евгений Д. Чертов предложил тематику исследования, осуществлял консультацию и руководство коллективом авторов

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 09.11.2016

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 29.11.2016

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Maksim A. Vasechkin candidate of technical sciences, assistant professor, technical mechanics department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vmax77@mail.ru

Ekaterina V. Matveeva candidate of technical sciences, assistant professor, technical mechanics department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, katrin_vgta@mail.ru

Aleksandr S. Sidorenko candidate of technical sciences, assistant senior lecturer, all-professional disciplines department, Russian air force military educational and scientific center "Air Force academy named after professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin", Starykh Bolshevikov str., 54a, Voronezh, Russia, sas1.vrn@mail.ru

Evgenii D. Chertov doctor of technical sciences, professor, technical mechanics department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ched@vsuet.ru

CONTRIBUTION

Maksim A. Vasechkin has offered algorithm of program realization of mathematical model of kinetostatical calculation of flat lever mechanisms, has executed debugging of the program for calculating the balancing forces according to the method of Zhukovsky

Ekaterina V. Matveeva has carried out the state-of-the-art review of information sources on the studied problem, has executed adjustment and submission of the manuscript in edition

Aleksandr S. Sidorenko has made the description of mathematical model of kinetostatical calculation of flat lever mechanism, has developed the software on realization of mathematical model of kinetostatical calculation of flat lever mechanisms, has written the manuscript, bears responsibility for plagiarism

Evgenii D. Chertov has offered scope of researches, carried out consultation and the management of group of authors

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 11.9.2016

ACCEPTED 11.29.2016