

УДК 531.8

ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД СИНТЕЗА РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ И РАСЧЕТЫ НА ПРОЧНОСТЬ

© 2009 Ф.Е. Ляшко, Д.Г. Вольсков

Институт авиационных технологий и управления
Ульяновского государственного технического университета

Поступила в редакцию 20.07.2009

В статье авторы рассматривают методику синтеза рычажного механизма по соответствующей (или заданной) траектории выходного звена графоаналитическим методом с использованием T-FLEX модели. Главной задачей синтеза здесь является генерация механизма по заданному полезному ходу ползуна. Оптимизации этого хода и выводят зависимость его хода (ползуна D) от обобщенной координаты (например, φ).

Ключевые слова: синтез рычажного механизма, траектория выходного звена, графоаналитический метод, генерация механизма.

На современном этапе, который характеризуется бурным развитием программного обеспечения вычислительной техники, возникают задачи проектирования механизмов методами, хорошо приспособленными к их реализации на вычислительных машинах.

Рассмотрим методику синтеза рычажного механизма по заданной траектории выходного звена графоаналитическим методом, основанной на построении его T-FLEX модели, а так же дальнейшая возможность расчета на прочность его трехмерной модели при помощи метода конечных элементов.

T-FLEX CAD – система параметрического автоматизированного проектирования и черчения. Она обеспечивает высокую степень гибкости и возможность изменения изображения при сохранении соотношений между элементами, предусмотренных разработчиком. Уникальный механизм параметризации и полный набор профессиональных инструментов компьютерного проектирования позволяют существенно упростить процесс конструирования и оформления графической документации. T-FLEX CAD позволяет использовать конструктору в CAD-программе опыт работы на кульмане.

Идея параметризации уже прочно завоевала свое место в компьютерном проектировании. Под параметризацией подразумевается, прежде всего, многократное использование чертежа с возможностью изменения его параметров.

На первом этапе решения поставленной задачи строится математическая модель заданно-

го механизма (рис. 1).

Рассмотрим механизм, приведенный на рис. 1. Строим кинематическую схему механизма.

Пользуясь графическим способом нахождения скоростей, строим план скоростей (рис. 2).

Аналогично строим план ускорений (рис. 3).

Построенная T-FLEX модель наглядна и универсальна, так как позволяет определять положения, скорости и ускорения звеньев механизмов любой структуры и оценить их относительные величины с учетом функций, выполняемых механизмом, пересмотреть кинематические параметры в любых положениях с любым шагом, увидеть изменение этих параметров в динамике.

Синтез кинематической схемы механизма состоит в определении некоторых постоянных его параметров, удовлетворяющих заданным структурным, кинематическим и динамическим условиям, при этом одна часть этих параметров может быть задана, а другая должна быть определена.

В общем случае задачи синтеза механизмов являются многопараметрическими, так как число параметров механизма никогда не бывает однозначным.

Главной задачей синтеза механизма в нашем случае является генерация механизма по заданному полезному ходу ползуна D. Для механизма со структурной схемой изображенной на рис. 1, характерно то, что длина звена O₂C постоянна, а движение точки C происходит по окружности. Для выполнения оптимизации полезного хода ползуна D нужно вывести зависимость его хода от обобщенной координаты φ , что и было сделано для ползуна.

Находим угол φ_1

$$\varphi_1 = \arctg \left(\frac{y + O_1A \cdot \sin(\varphi)}{O_1A \cdot \cos(\varphi)} \right).$$

Ляшко Федор Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, директор института. E-mail: aviafil@tv.ru.
Вольсков Дмитрий Геннадьевич, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры "Самолетостроение". E-mail: aviafil@tv.ru.

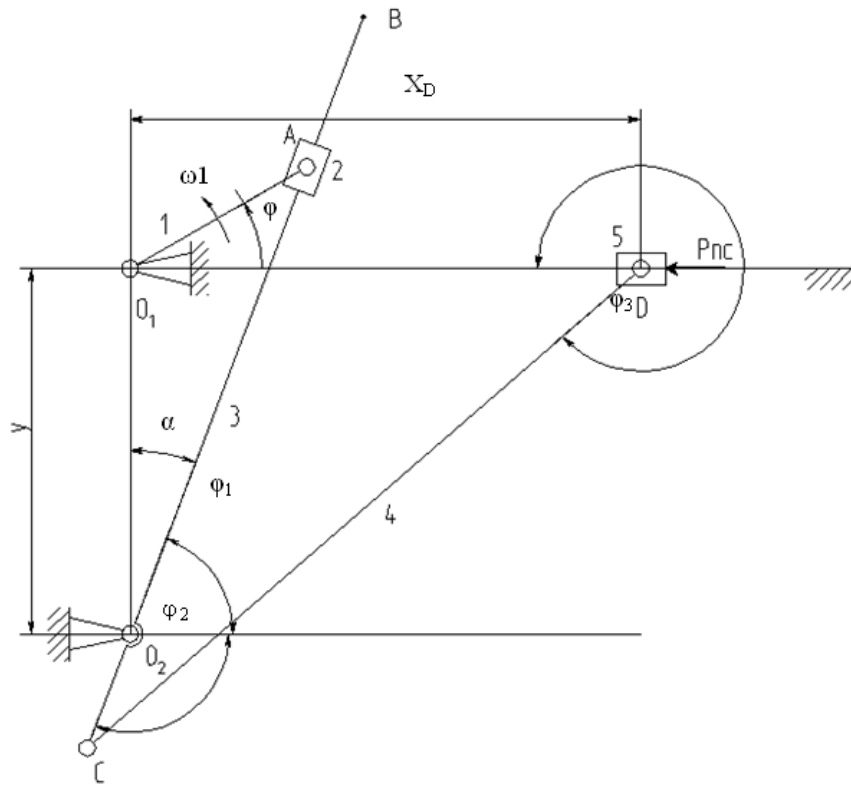


Рис. 1. Схема механизма

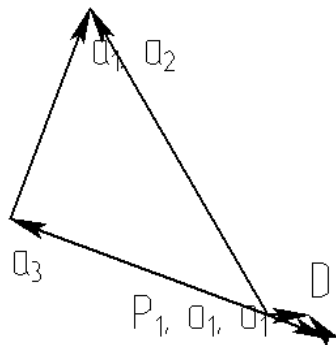


Рис. 2. План скоростей

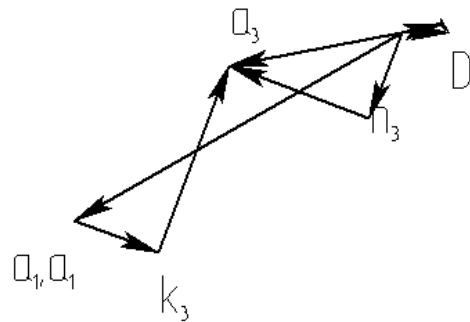


Рис. 3. План ускорений

Теперь необходимо определить величину $O2A$. По теореме косинусов имеем:

$$O2A = \sqrt{y^2 + O1A^2 + 2 \cdot y \cdot O1A \cdot \sin(\varphi)}$$

Угол φ_2 будет равен $\varphi_2 = \pi - \varphi_1$

Далее выражаем X_D

$$X_D = O2C \cdot \cos(\varphi_2) + CD \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{O2C \cdot \sin(\varphi_2) + y}{CD}\right)^2}$$

Из геометрических зависимостей устанавливаем, что значение X_C будет максимально и минимально тогда, когда $O1A$ будет перпендикулярно $O2A$.

Отсюда находим угол α

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{O1A}{y}\right)$$

Выражаем величины $X_{D \min}$ и $X_{D \max}$

$$X_{D \min} = O2C \cdot \cos\left(-\frac{\pi}{2} - \alpha\right) + CD \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{O2C \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) + y}{CD}\right)^2};$$

$$X_{D \max} = O2C \cdot \cos\left(-\frac{\pi}{2} + \alpha\right) + CD \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{O2C \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right) + y}{CD}\right)^2}.$$

Тогда рабочий ход выходного звена будет равен

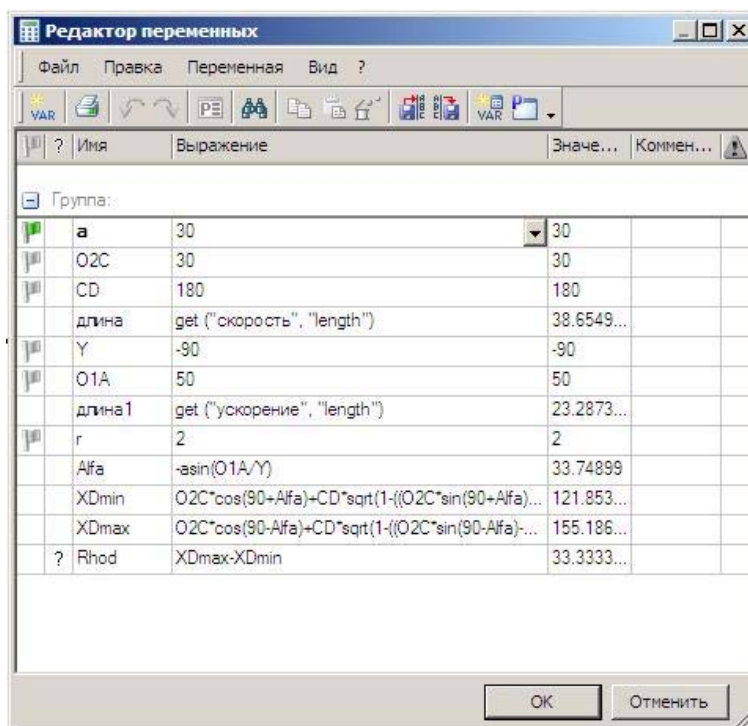


Рис. 4. Редактор переменных

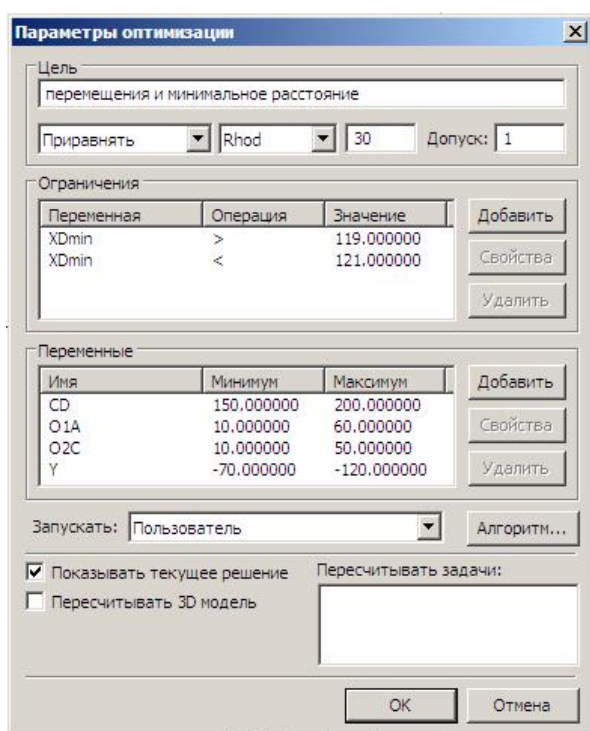


Рис. 5. Параметры оптимизации

$$Rhod = X_{D,max} - X_{D,min}$$

Используем полученные зависимости в системе T-FLEX (рис. 4).

Для синтеза механизма воспользуемся вкладкой "Параметры" и выберем пункт "Оптимизация" (рис. 5).

В задании на оптимизацию задавались пределы изменения длин звеньев, а так же значение рабочего хода и $X_{D,min}$.

Производим расчет оптимизации. И по заданным параметрам система подбирает длину звеньев.

На основе 2D модели механизма создаем 3D модель, которая позволяет визуализировать кинематическую схему (рис. 7).

В 3D модель механизма (рис. 7) была учтена третья координата для положения выходного звена в пространстве и внесены некоторые изменения в формулы. Теперь для расчета $X_{D,min}$ и $X_{D,max}$ используется не длина звена CD, а его проекция на плоскость хоу. Где z – расстояние между хоу и выходным звеном.

$$CD_{i\delta} = \sqrt{CD^2 - z^2}$$

Все используемые выражения заносятся в редактор переменных (рис. 8).

Параметры длин звеньев и задание на оптимизацию остались такими же, как и в случае с 2D моделью, учитывая, что выходное звено находится не в плоскости, а в пространстве.

Рассмотренная выше последовательность действий может быть применена на примере системы управления вертолетом (рис. 9).

Кинематическая схема построенная выше трансформируется в параметрическую модель механизма (рис. 10).

Производится увязка элементов конструкции при помощи параметров, что позволяет,

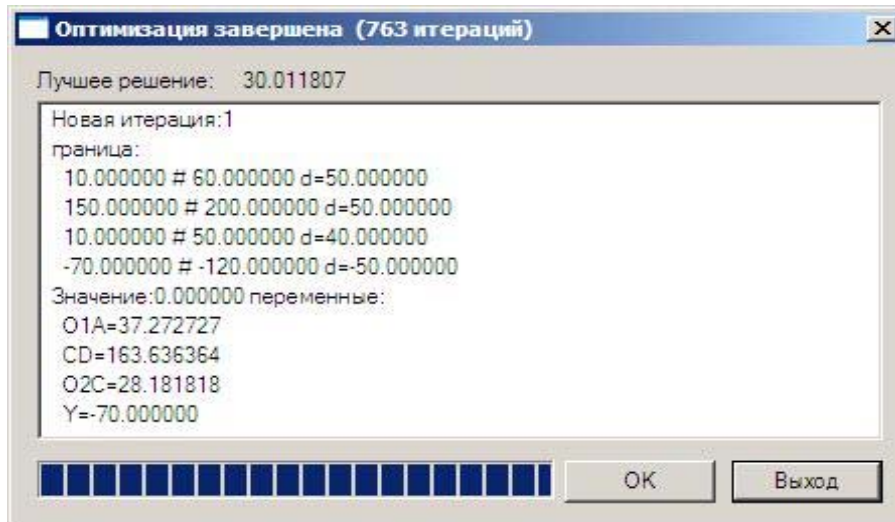


Рис. 6. Оптимизация

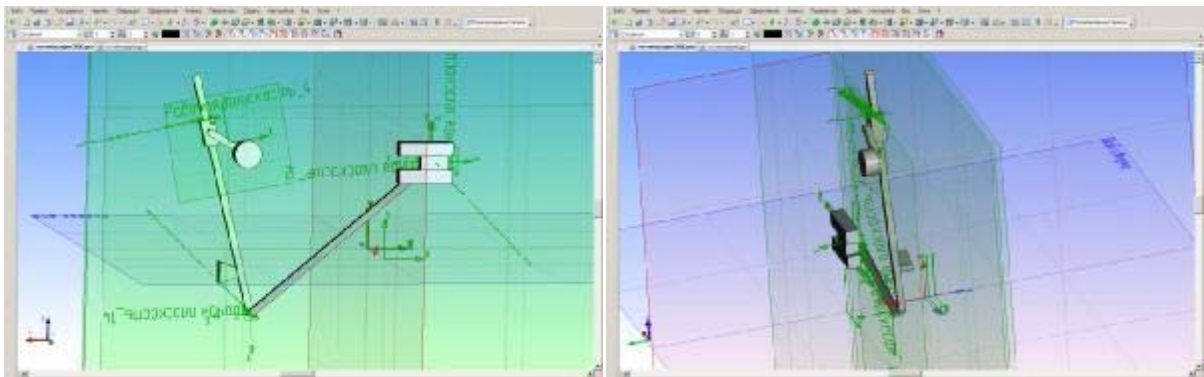


Рис. 7. Трехмерная модель механизма

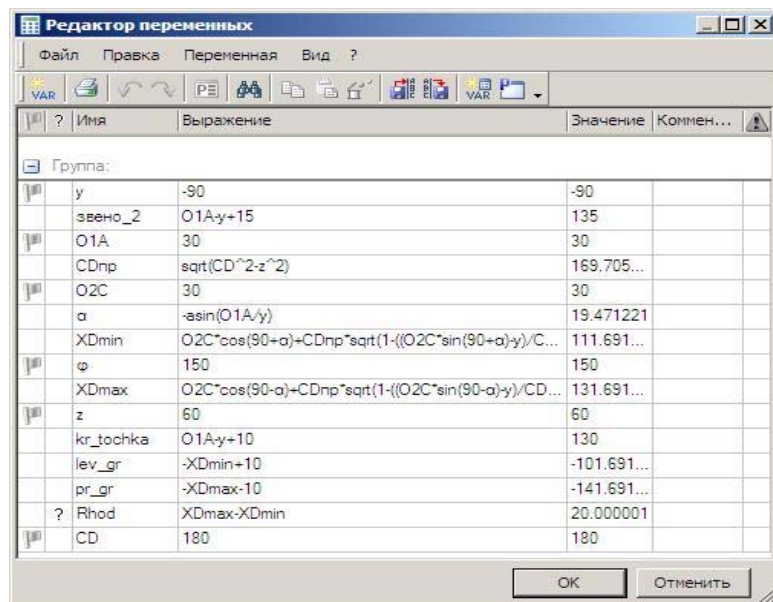


Рис. 8. Редактор переменных

редактируя значение параметров в редакторе переменных (рис. 11), изменять геометрические характеристики данного механизма, а также задавая продольное и поперечное переме-

жение ручки управления, наблюдать за его работой (рис. 12).

В редактор переменных вводится математическая зависимость рабочего хода выходного зве-

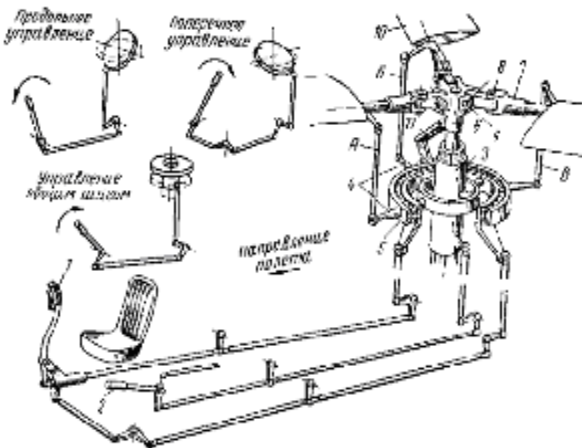


Рис. 9. Втулка вертолета и управление автоматом перекаса:
1 – ручка управления; 2 – рычаг общего шага; 3 – подвижная гильза; 4 – оси карданной подвески автомата перекаса; 6 – корпус втулки; 7 – ось осевого шарнира; 8 – ось вертикального шарнира; 9 – ось горизонтального шарнира; 10 – лопасть; 11 – шлиц шарнир; А,Б,В – тяги, соединяющие внешнее кольцо автомата перекаса с лопастями

на в зависимости от наклона ручки управления. Данная зависимость использует расчеты оптимизации для анализа величины рабочего хода, в зависимости от длин входных звеньев (рис. 13). Задавая граничные условия по изменению длин звеньев, а также соответствующие силы и величины, производится расчет рабочего хода на выходном звене.

По заданным пределам изменений длин звеньев система подбирает размеры, удовлетворяю-

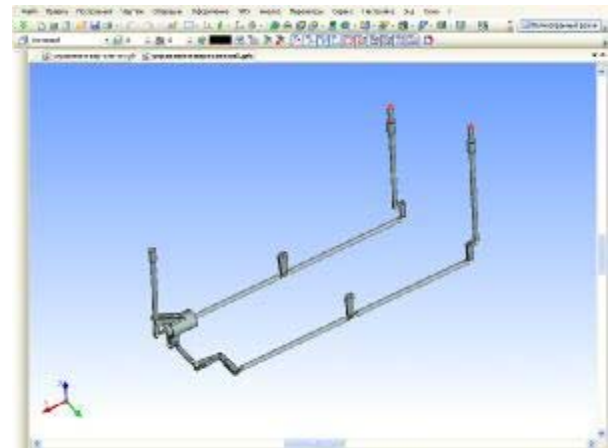


Рис. 10. Внешний вид механизма

щие начальным и граничным условиям (рис. 14).

После расчета длин звеньев, производится прочностной расчет при помощи метода конечных элементов (рис. 15). Для этого предварительно необходимо расставить все силы с указанием мест их приложения и тип закрепления.

По результатам прочностного (рис. 16) расчета можно определить сильно и слабо нагруженные элементы конструкции и оптимально подобрать сечения звеньев, обеспечив тем самым требуемую прочность при минимальном весе.

Рассмотренный в данной статье метод позволяет производить синтез механизма по заданному закону движения выходного звена с помощью аналитической модели. Данный методом использует векторный контур и T-FLEX модели. По результатам оптимизации можно произвести расчет прочности и выявить слабые и сильные звенья конструкции.

Имя	Выражение	Значение	Комментарий
А_лик_Ф_длинного	13000	10000	
А_лик_Ф_длинного_длина_А_лик_Ф_длинного_длина_управления_орбит	А_лик_Ф_длинного_длина_А_лик_Ф_длинного_длина_управления_орбит	708.082292	
А_лик_Ф_правильного	13000	10000	
А_лик_Ф_правильного_длина_А_лик_Ф_правильного_длина_управления_орбит	А_лик_Ф_правильного_длина_А_лик_Ф_правильного_длина_управления_орбит	257.143254	
А_лик_поперечный_наклон	2.00	30.0	
А_лик_поперечный_наклон_1	4.00	30.0	
А_лик_поперечный_наклон_2	200	30.0	
А_лик_поперечный_наклон_3	0	3	
А_лик_поперечный_наклон_4	0	3	только в 3D-модели
А_лик_поперечный_наклон_5	А_лик_Ф_длинного_длина_А_лик_Ф_длинного_длина_управления_орбит	7	
А_лик_поперечный_наклон_6	А_лик_Ф_правильного_длина_А_лик_Ф_правильного_длина_управления_орбит	7	
А_лик_поперечный_наклон_7	А_лик_Ф_правильного_длина_А_лик_Ф_правильного_длина_управления_орбит	12.164875	
А_лик_поперечный_наклон_8	А_лик_Ф_правильного_длина_А_лик_Ф_правильного_длина_управления_орбит	16.251624	
А_лик_поперечный_наклон_9	15	15	
А_лик_поперечный_наклон_10	30	30	
А_лик_поперечный_наклон_11	200	30.0	
А_лик_поперечный_наклон_12	30	30	
А_лик_поперечный_наклон_13	А_лик_Ф_длинного_длина_А_лик_Ф_длинного_длина_управления_орбит	25.000012	
А_лик_поперечный_наклон_14	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_15	63	50	
А_лик_поперечный_наклон_16	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_17	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_18	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_19	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_20	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_21	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_22	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_23	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_24	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_25	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_26	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_27	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_28	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_29	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_30	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_31	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_32	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_33	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_34	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_35	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_36	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_37	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_38	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_39	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_40	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_41	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_42	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_43	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_44	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_45	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_46	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_47	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_48	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_49	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_50	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_51	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_52	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_53	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_54	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_55	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_56	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_57	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_58	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_59	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_60	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_61	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_62	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_63	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_64	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_65	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_66	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_67	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_68	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_69	43	40	
А_лик_поперечный_наклон_70	43	40	

Рис. 11. Окно редактора переменных

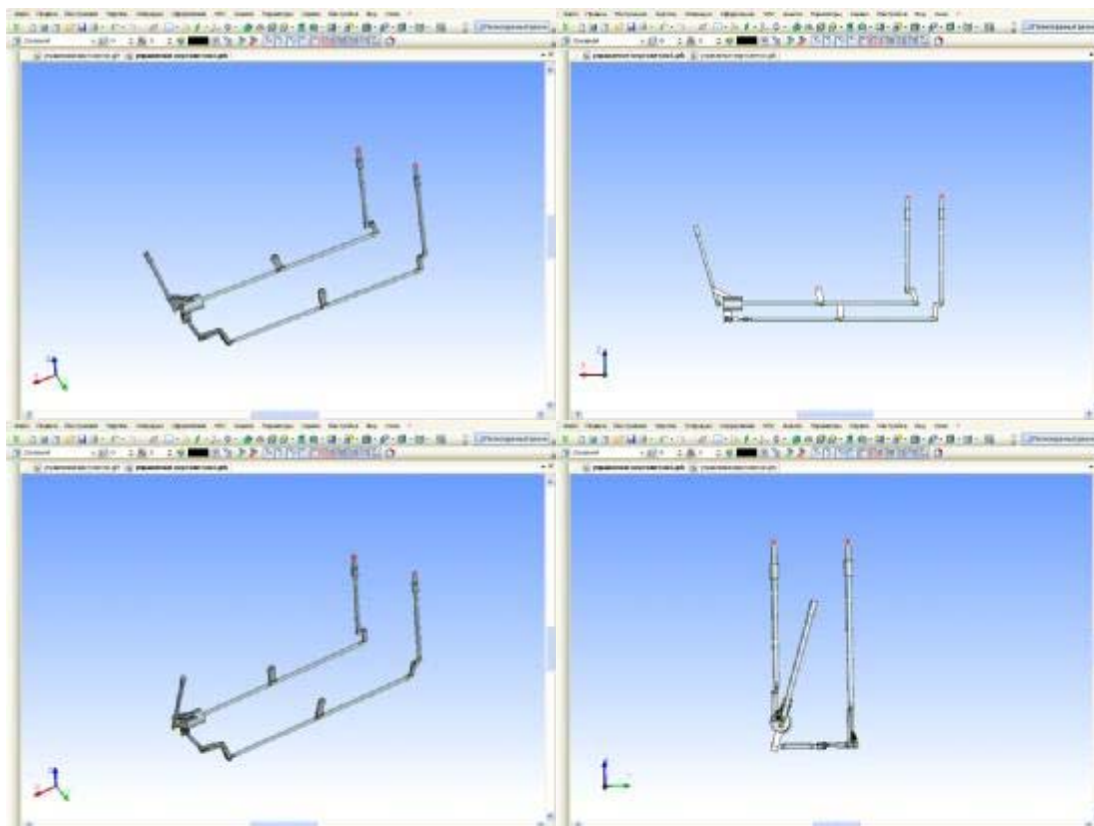


Рис. 12. Работающий механизм



Рис. 13. Расчет оптимизации

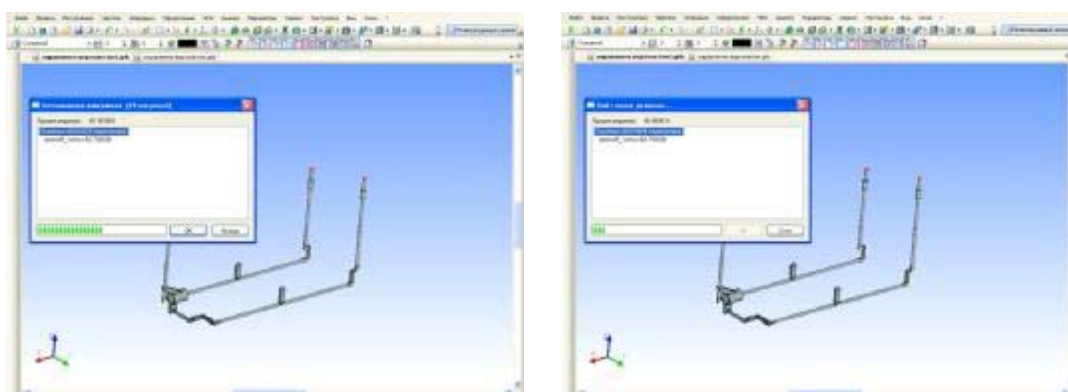


Рис. 14. Выполнение оптимизации

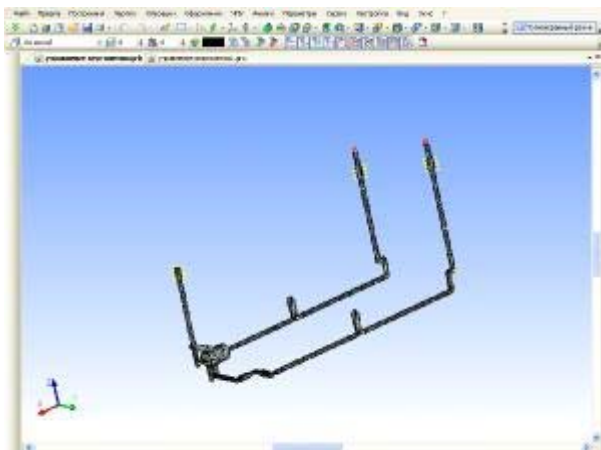


Рис. 15. Сетка метода конечных элементов

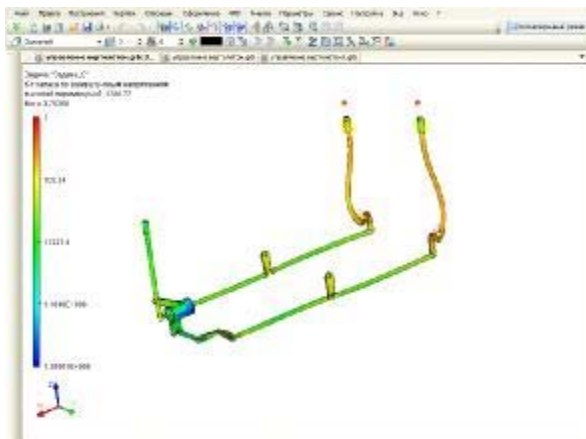


Рис. 16. Коэффициент запаса прочности

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артоболовский И.И. Теория механизмов и машин: Учеб. для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Наука. 1988. 640 с.
2. Левитский Н.И. Теория механизмов и машин: Учеб. пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука. 1990. 592 с.
3. Далин В.Н., Михеев С.В. Конструкция вертолетов: Учебник. М.: Изд-во МАИ, 2001.-352 с.
4. Конструкция и прочность самолетов и вертолетов / Воскобойник М.С., Лагосюк Г.С., Миленький Ю.Д. и др. М.: Транспорт, 1972. 440 с.

GRAPH-ANALYTIC METHOD FOR THE SYNTHESIS OF LINKAGE AND STRENGTH CALCULATIONS

© 2009 F.E. Lyashko, D.G. Volskov

Institute of Aviation Technology and Management
Of Ulyanovsk State Technical University

In this paper the authors examine the method of synthesis of the corresponding lever mechanism (or desired) trajectory of the output unit graphical method using T-FLEX model. The main objective of this synthesis is the generation of a useful mechanism for a given course of the slide. Optimization of this course and deduce the dependence of its speed (slide D) of the generalized coordinates (eg, j).

Key words: synthesis lever mechanism, the trajectory of the output unit, graph-analytic method, the generation mechanism.