

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ 3D-МОДЕЛИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С РАКЕТНО-ПРЯМОТОЧНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Лохтин О.И. *, Разносчиков В.В. **, Аверьков И.С. ***

Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова,
ЦИАМ, Авиамоторная ул., 2, Москва, 111116, Россия

* e-mail: olohtin@gmail.ru

** e-mail: raznoschikov@ciam.ru

*** e-mail: averkov@ciam.ru

Статья поступила в редакцию 24.03.2020

Разработка летательного аппарата (ЛА) с ракетно-прямоточным двигателем (РПДТ) на этапе аванпроекта начинается с объемно-массовой компоновки (ОМК) изделия, определения геометрических параметров характерных сечений двигателя и аэродинамических поверхностей ЛА в рамках специализированного программного комплекса на основе инженерных одномерных подходов. Это позволяет создать чертеж трех видов ЛА и двигателя. Для дальнейших исследований теплового состояния, определения аэродинамических и прочностных характеристик, массовой сводки элементов планера, вычисления центра масс, моментов инерции изделия и выполнения численных газодинамических расчетов в многомерной постановке требуется сформировать 3D-модель. В настоящее время работа по созданию 3D-объектов выполняется разрозненными коллективами. Для упрощения исследований и выявления концептуальных недочетов требуется сократить время от проектирования чертежа трех видов до 3D-модели. Таким образом, стоит задача организации взаимодействия программного комплекса на базе инженерных подходов и программы формирования трехмерных твердотельных объектов.

Ключевые слова: перенос полученных результатов, летательный аппарат с ракетно-прямоточным двигателем, объемно-массовая компоновка, трехмерная твердотельная модель, чертеж трех видов.

Введение

Разработка летательного аппарата (ЛА) с ракетно-прямоточным двигателем (РПДТ) на этапе аванпроекта начинается с формирования объемно-массовой компоновки (ОМК) изделия. Затем требуется определить геометрию характерных сечений двигателя и аэродинамических поверхностей. Эти вопросы могут решаться путем настройки и оптимизации в специальном программном комплексе [1, 2] на основе одномерных инженерных подходов. Результатом этих исследований является целый спектр различных технических сведений: характеристики элементов РПДТ и, как следствие, высотно-скоростные характеристики двигателя, аэродинамические характеристики планера ЛА, параметры динамики полета по данным технического задания и, разумеется, предварительные размеры основных элементов планера ЛА и РПДТ. Это позволяет выполнить чертеж трех видов. Но для дальнейших исследований тепло-

вого состояния, аэродинамических и прочностных характеристик требуется создать 3D-модель.

Для решения такой задачи применяют современные системы автоматического проектирования (САПР) [3–8]. Среди имеющихся на рынке доступных программных продуктов стоит отметить следующие: КОМПАС-3D [9–11]; SolidWorks [12]; Autodesk Inventor [13] и др. Однако ни один из них не позволяет решить поставленную задачу напрямую, без разработки специальных процедур.

В настоящее время системы автоматического проектирования используются для перевода чертежей в электронную форму. Сначала по бумажным чертежам вручную создается 3D-модель, и по ней воссоздаются исходные чертежи, но уже в электронном виде. Для упрощения исследований и выявления концептуальных недочетов требуется сократить время от появления чертежа трех видов предварительного исследования до 3D-модели.

Поэтому большой научно-практический интерес представляет создание единой программы для моделирования реальных объектов.

Подобную программу можно получить путем организации взаимодействия между внешним специализированным программным комплексом на базе инженерных моделей и одной из систем САПР. Таким образом, появится возможность сразу перейти от чертежа трех видов к 3D-модели. Блок–схема формирования трехмерной модели изделия в программном комплексе показана на рис. 1.

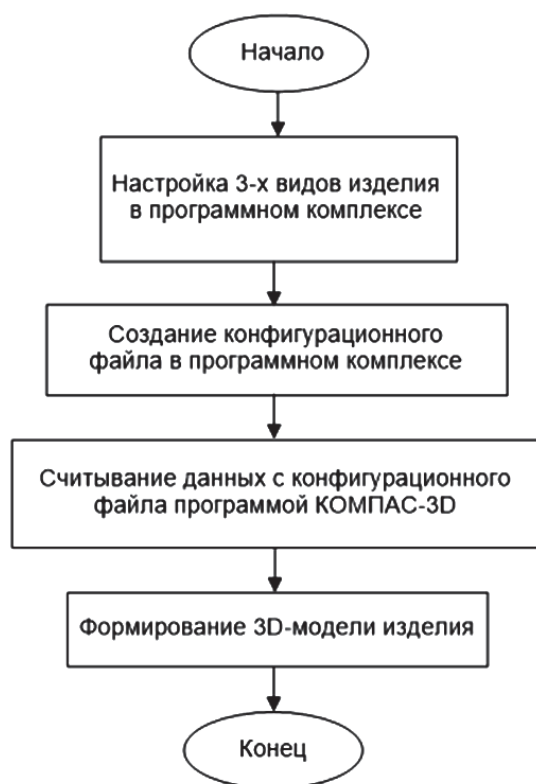


Рис. 1. Блок-схема формирования 3D-модели

Появление такой процедуры взаимодействия значительно ускорит процесс создания и модификации 3D-моделей, что в свою очередь даст возможность сразу выявлять концептуальные ошибки и ускорит различные исследования. На данный момент в свободном доступе подобной процедуры взаимодействия нет не только в России, но и во всем мире.

Целью работы является разработка методики создания 3D-модели ЛА с РПДТ.

Предварительное формирование геометрических параметров ЛА с РПДТ

Рассмотрим подробнее процедуру формирования 3D-модели планера ЛА. Формирование гео-

метрических параметров планера ЛА с РПДТ является основным элементом процедуры ОМК [14, 15] и выполняется в рамках специализированной программы на основе инженерных подходов. В процессе выполнения ОМК осуществляется расчет массы ЛА и его основных частей, массы и объема топлива, координат центра масс частей и ЛА в целом и т.п. Все исходные данные настраиваются в диалоговом интерфейсе программного комплекса. После ввода исходных данных производится расчет геометрических параметров основных элементов ЛА.

Программный комплекс предоставляет широкий спектр возможностей для настройки чертежа трех видов ЛА: изменение геометрических параметров фюзеляжа и количества его отсеков; добавление крыла и оперения, с возможностью их редактирования; получение как массы всего ЛА, так и его отдельных частей. Таким образом, задав основные характеристики ЛА, программный комплекс произведет расчет всех оставшихся параметров и сформирует чертеж трех видов (рис. 2). Кроме того, в программном комплексе есть также возможность настроить геометрические параметры двигателя и его термодинамические характеристики [16, 17] (рис. 3).

Создание трехмерной твердотельной модели изделия требуется для расчета аэродинамических характеристик [18–21], определения массовой сводки элементов планера, вычисления центра масс, моментов инерции изделия [22], подготовки к численному трехмерному моделированию в программах трехмерного газодинамического расчета [23, 24] и т.п. (рис. 4). В этом случае осуществляется перенос полученных результатов в трехмерную твердотельную модель изделия. Таким образом, стоит задача разработки методики перевода чертежа трех видов программного комплекса в программу формирования трехмерных твердотельных объектов. Особенность выполненной работы заключается в том, что создание 3D-модели выполняется непосредственно после расчетно-теоретического исследования по формированию облика РПДТ в оптимизационной постановке.

Были проанализированы два метода получения трехмерной модели: с помощью формата STEP и таблицы в формате XLS. В ходе анализа было выявлено, что стандарт обмена данными модели изделия STEP [25] позволяет максимально автоматизировать процесс получения модели, тем самым ускоряя работу пользователя, что является существенным преимуществом. Недостатком дан-

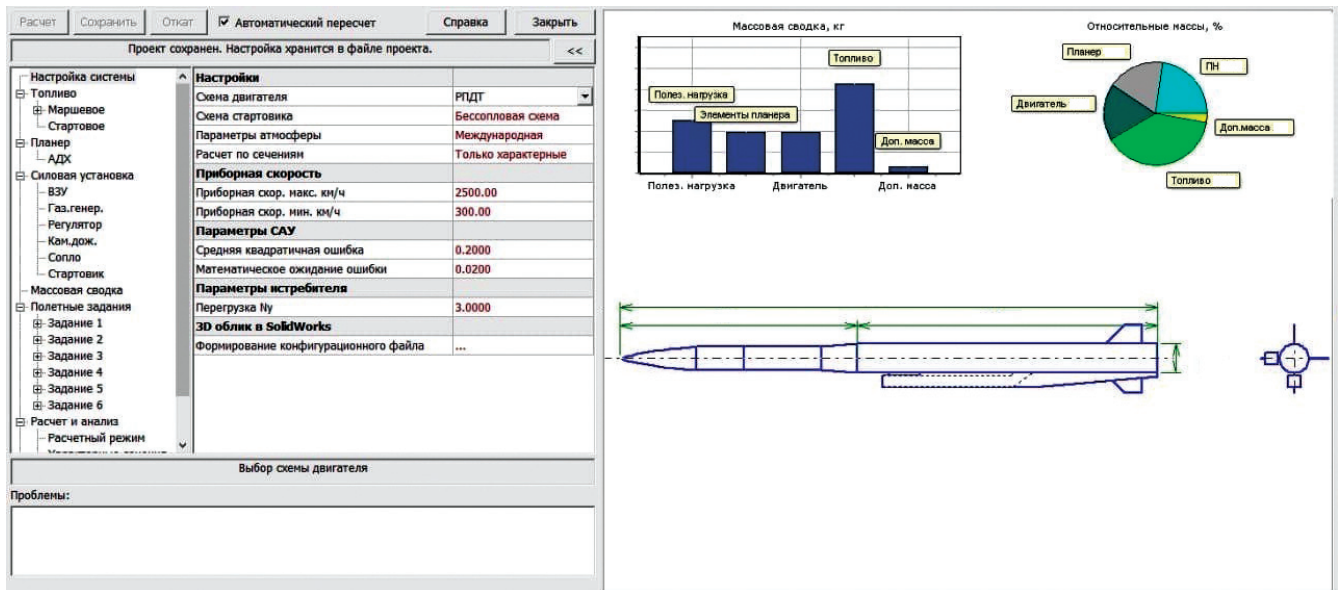


Рис. 2. Диалог программного комплекса с чертежом планера ЛА

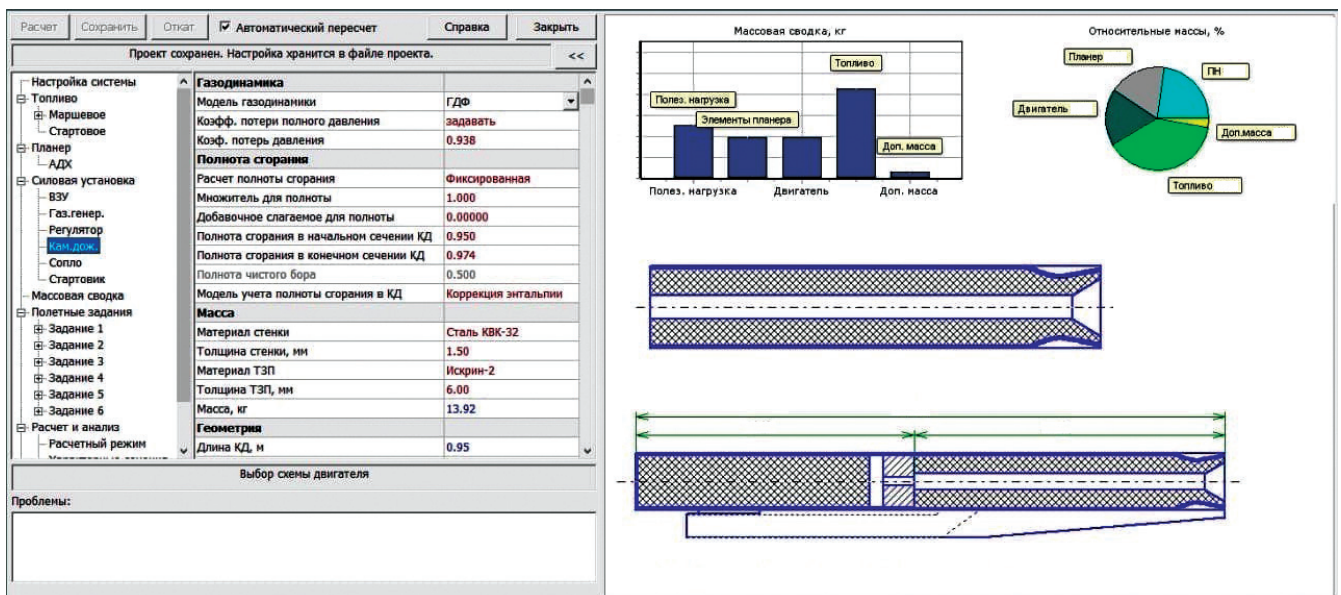


Рис. 3. Диалог программного комплекса с чертежом РПДТ

ного метода является сложность структуры самого файла, что требует определенных навыков программирования и наличия каких-либо пособий по работе с этим форматом. Файлы формата XLS обладают большей наглядностью и простотой, но для создания трехмерной твердотельной модели необходимо иметь шаблон изделия. В настоящем исследовании описан метод формирования 3D-модели с использованием шаблона.

Перевод чертежа трех видов из программного комплекса в 3D-модель программой КОМПАС-3D

Для создания трехмерной модели изделия в специализированном программном комплексе на основе инженерных моделей организуется конфигурационный файл, который представляет собой текстовую информацию о параметре и его значении. Файл имеет формат XLS, его фрагмент представлен на рис. 5. В первой строчке файла запи-

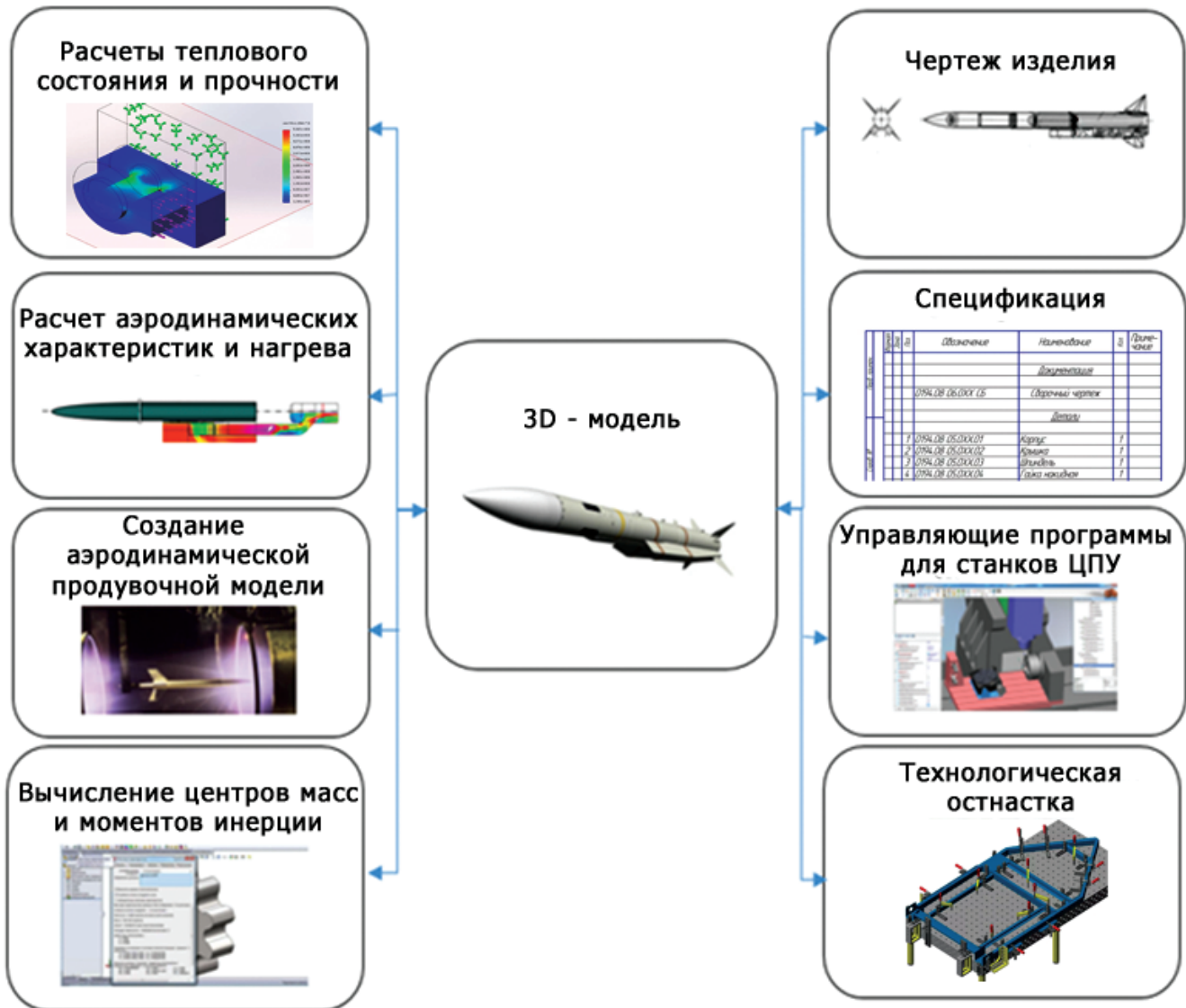


Рис. 4. Использование трехмерной твердотельной модели

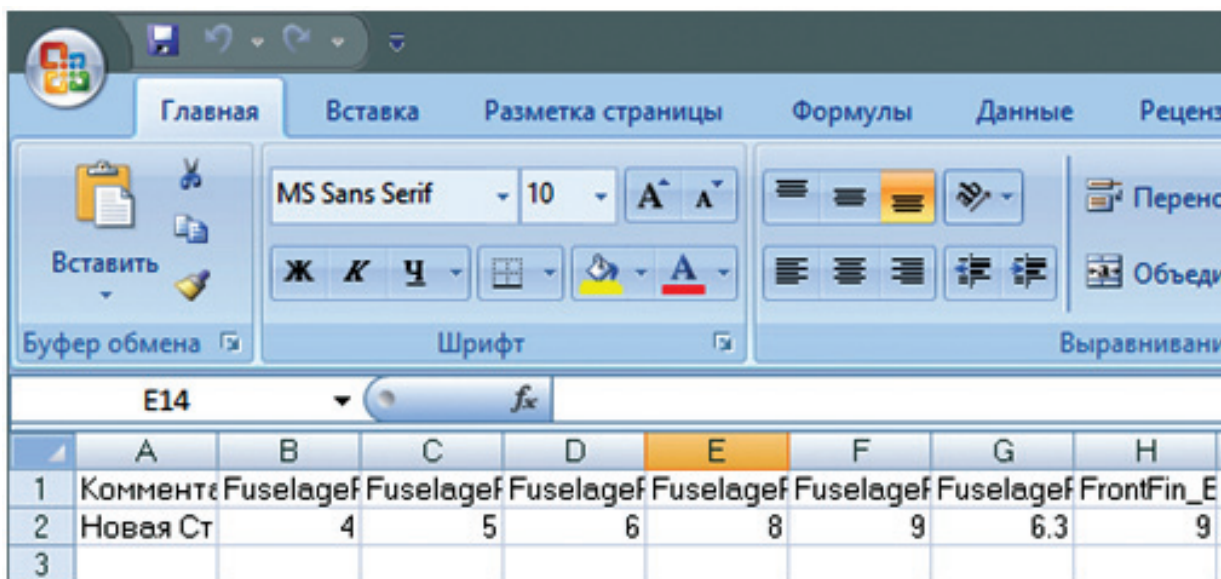


Рис. 5. Конфигурационный файл

сано имя переменной, как ее прочитает программа КОМПАС-3D, а во второй записано численное значение этой переменной.

В программе КОМПАС-3D необходимо открыть заранее созданный шаблон изделия, который представляет собой трехмерную модель, геометрические параметры которой определяются посредством конфигурационного файла и автома-

тически считываются из него. Любой геометрический параметр шаблона можно связать с конфигурационным файлом. Для этого нужно в шаблоне выбрать вкладку «Переменные», а затем «Таблица переменных» (рис. 6).

После того как откроется таблица переменных, необходимо нажать кнопку «Читать из файла» (рис. 7).

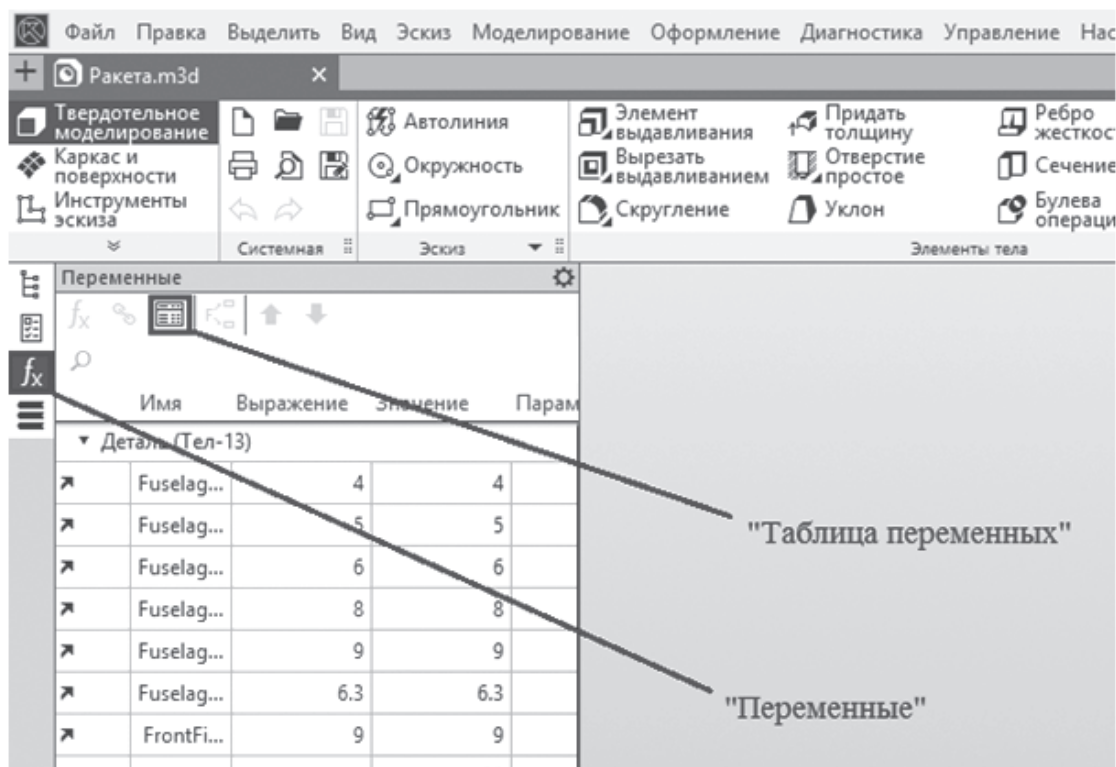


Рис. 6. Диалог программы КОМПАС-3D: переход в таблицу переменных

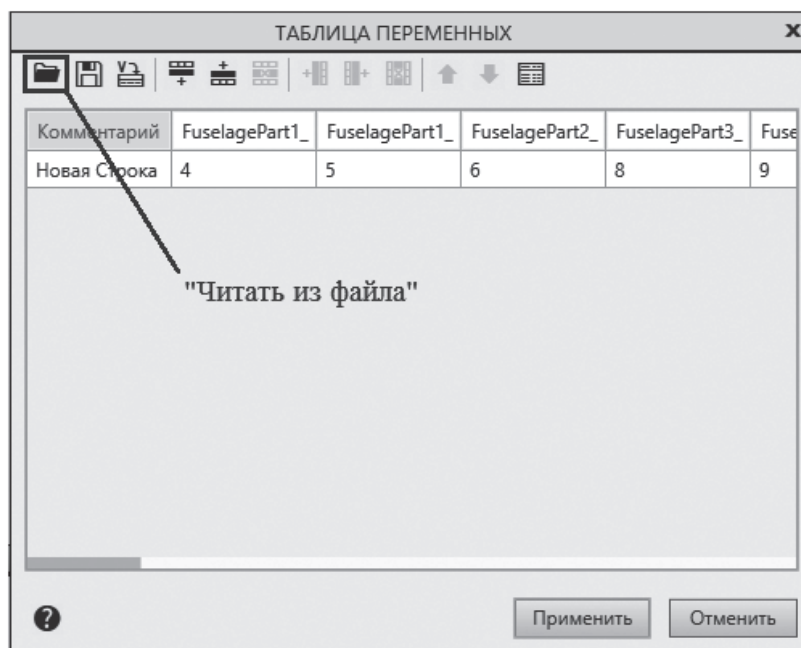


Рис. 7. Диалог программы КОМПАС-3D: импорт данных конфигурационного файла

В открывшемся окне нужно выбрать конфигурационный файл, нажать «Открыть» (рис. 8). На вопрос «Заменить данные таблицы?» ответить «Да» (рис. 9). При нажатии на нижнюю строчку таблицы появится иконка «Присвоить значения

переменным», на которую нужно нажать (рис. 10). При нажатии клавиши «F5» модель перестроится. Геометрические параметры новой модели будут соответствовать параметрам, полученным в программном комплексе (рис. 11).



Рис. 8. Выбор конфигурационного файла

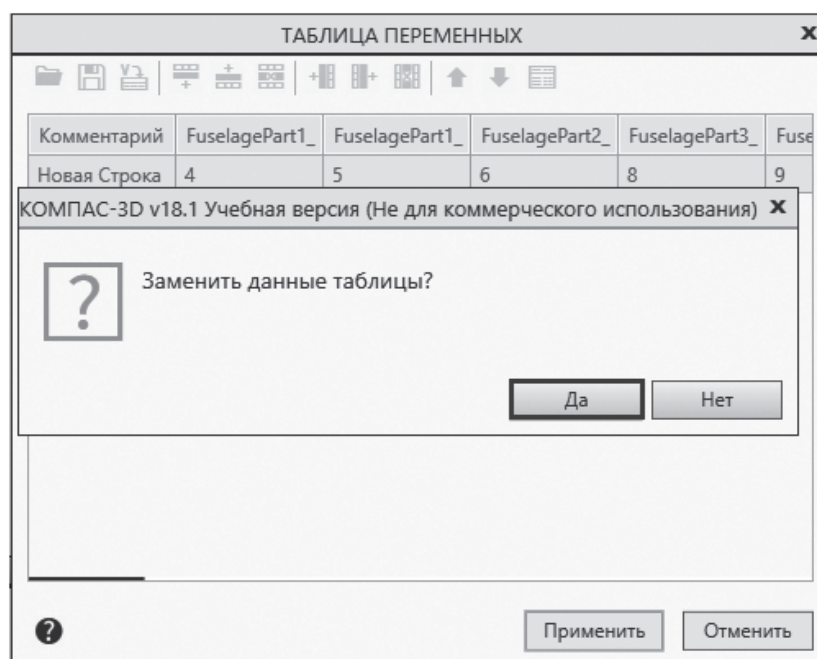


Рис. 9. Диалог программы КОМПАС-3D: замена данных таблицы переменных

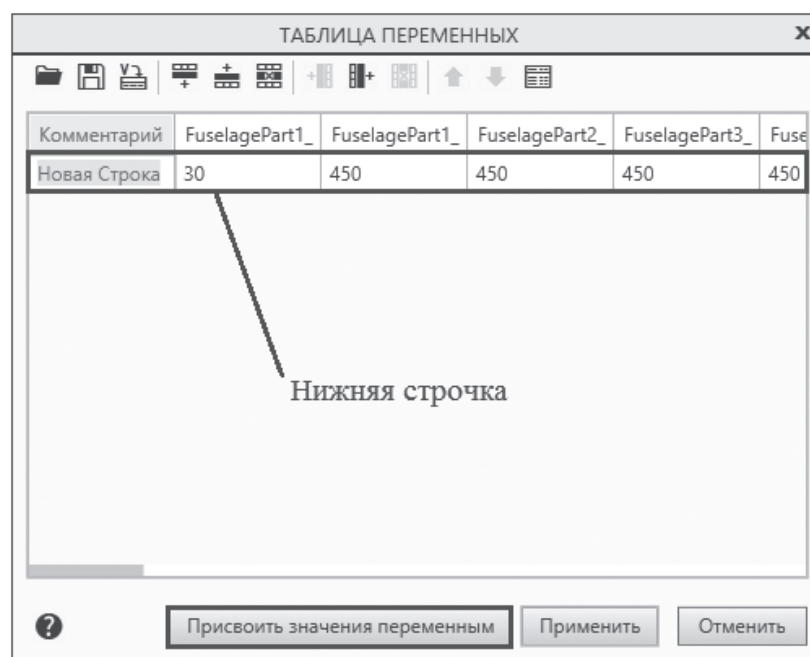


Рис. 10. Диалог программы КОМПАС-3D: присвоение значений переменным

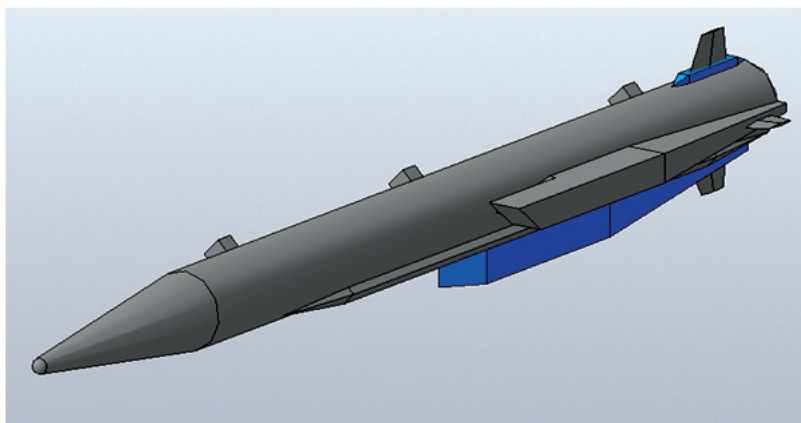


Рис. 11. Трехмерная модель ЛА с РПДТ

Внутри специализированного программного комплекса, где выполняется предварительный расчет облика изделия, организуется процедура по сохранению всех необходимых геометрических параметров в конфигурационный файл. Таким образом, организуется автоматическое поддержание 3D-модели изделия в актуальном состоянии.

Выводы

Новизна выполненной работы заключается в том, что создание 3D-модели выполняется автоматически непосредственно после расчетно-теоретического исследования по формированию облика РПДТ в специализированной программе на основе инженерных подходов. Это позволяет существенно ускорить процесс комплексного многодисциплинарного анализа и проектирования РПДТ в составе ЛА.

Библиографический список

1. Разносчиков В.В. Системный анализ использования топлива в авиационных силовых установках // Полет. 2008. № 4. С. 28-32.
2. Сорокин В.А., Яновский Л.С., Козлов В.А. и др. Проектирование и отработка ракетно-прямоточных двигателей на твердом топливе: Учебное пособие / Под общей редакцией В.А. Сорокина. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. — 317 с.
3. Большаков В.П., Бочков А.Л., Лячек Ю.Т. Твердотельное моделирование деталей в САД-системах: AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor, Creo; 3D-модели и конструкторская документация сборок: Учебный курс. — СПб.: Издательский дом «Питер», 2014. — 304 с.
4. Ефремов Г.В., Ньюкалов С.И. Инженерная и компьютерная графика на базе графических систем. — М.: Тонкие наукоемкие технологии, 2014. — 256 с.
5. Melendez F. Drawing from the Model: Fundamentals of Digital Drawing, 3D Modeling, and Visual Programming in Architectural Design. — John Wiley & Sons, 2019. — 352 p.
6. Tedeschi A. AAD Algorithms-Aided Design: Parametric Strategies using Grasshopper. — Napoli: Edizioni Le Pensur, 2014. — 496 p.
7. Singh S. Beginning Google Sketchup for 3D Printing. — Apress, 2010. — 328 p.
8. Ritland M. 3D Printing with SketchUp. — Packt Publishing, 2014. — 136 p.
9. Компания АСКОН (российский разработчик и интегратор инженерного программного обеспечения), <http://www.ascon.ru/>
10. Ганин Н.Б. Трехмерное проектирование в КОМПАС-3D. — М.: ДМК Пресс, 2012. — 784 с.
11. Ганин Н.Б. Проектирование и прочностной расчет в системе КОМПАС-3D V13. — М.: ДМК Пресс, 2011. — 320 с.
12. Зиновьев Д.В. Основы моделирования в SOLIDWORKS. Практическое руководство по освоению программы SolidWorks в кратчайшие сроки / Под ред. М.И. Азанова. — М.: ДМК Пресс, 2017. — 240 с.
13. Компания Autodesk (лидер в области разработки решений для 3D-проектирования, дизайна, графики и анимации), <http://www.autodesk.ru>
14. Сорокин В.А., Яновский Л.С., Козлов В.А. и др. Ракетно-прямоточные двигатели на твердых и пастообразных топливах. — М.: Физматлит, 2010. — 317 с.
15. Ветров В.В., Морозов В.В., Костяной Е.М., Оськин А.С., Федоров А.С. Калиброванное воздухозаборное устройство для летательного аппарата с ракетно-прямоточным двигателем // Вестник Московского авиационного института. 2019. Т. 26. № 2. С. 70-80.
16. Александров В.Н., Быцкевич В.М., Верховоломов В.К. и др. Интегральные прямоточные воздушно-реактивные двигатели на твердых топливах / Под ред. Л.С. Яновского. — М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. — 343 с.
17. Лапушкин В.Н., Минин Н.В. Термодинамические и тепловые процессы в малоразмерном воздушно-

- реактивном двигателе с мембранным свободнопоршневым газогенератором топливной смеси // Вестник Московского авиационного института. 2010. Т. 17. № 4. С. 96-105.
18. *Акимов Г.А., Бородавкин В.А., Заимко В.А.* и др. Аэродинамические характеристики летательных аппаратов: Учебное пособие для вузов. — СПб.: БГТУ им. Д.Ф. Устинова, 2003. — 118 с.
 19. *Сидельников Р.В., Тропин А.Б.* Аэродинамика ракет: Учебное пособие. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 1997. — 42 с.
 20. *Гриценко Н.А., Икрянников Е.Д.* Расчет аэродинамических характеристик самолета: Учебное пособие. — М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1994. — 255 с.
 21. *Брусов В.С., Петручик В.П., Кузнецов А.В.* Исследования аэродинамических характеристик профилей крыла беспилотных летательных аппаратов с малыми скоростями и большой высотой полета // Вестник Московского авиационного института. 2013. Т. 20. № 3. С. 19-31.
 22. *Микеладзе В.Г., Титов В.М.* Основные геометрические и аэродинамические характеристики самолетов и ракет: Справочник. — М.: Машиностроение, 1990. — 143 с.
 23. *Зельдович Я.Б.* Теория ударных волн и введение в газодинамику / Ответственный редактор академик Н.Н. Семенов. — М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1946. — 187 с.
 24. *Борисенко А.И.* Газовая динамика двигателей: Учебное пособие для авиац. вузов. — М.: Оборонгиз, 1962. — 793 с.
 25. *Frohlich A.* Сравнение 3D-форматов. Исследование компании PROSTEP // CAD/CAM/CAE Observer, 2011, no. 4(64), pp. 53-62. URL: http://www.cadcamcae.lv/hot/PROSTEP_n64_p53.pdf

A TECHNIQUE FOR 3D-MODEL DEVELOPING OF A FLYING VEHICLE WITH DUCTED ROCKET ENGINE

Lokhtin O.I.* , Raznoschikov V.V. , Aver'kov I.S.*****

*Central Institute of Aviation Motors named after P.I. Baranov,
CIAM, 2, Aviamotornaya str., Moscow, 111116, Russia*

** e-mail: olohtin@gmail.ru*

*** e-mail: raznoschikov@ciam.ru*

**** e-mail: averkov@ciam.ru*

Abstract

The flying vehicle with ducted rocket engine (DRE) developing at the preliminary design stage begins with forming the volume-weight layout of the product. Then, determining geometry of both engine characteristic sections and aerodynamic surfaces is required. These issues can be solved by tuning and optimizing with special software. The result of these studies represents the entire range of various technical information, such as characteristics of the DRE elements and, consequently, the engine altitude and speed characteristics, the airframe aerodynamic characteristics, flight dynamics parameters according to the technical specifications and, surely, preliminary size of the airframe and DRF basic elements. This allows making a drawing of all three views. However, further studies of the thermal state, aerodynamic and strength characteristics require a 3D-model.

To solve such problem, it is effective to employ automated design systems, since their capabilities are noticeably superior to human ones. Analysis of the software products available on the market (KOMPAS-3D; SolidWorks; Autodesk Inventor and others)

revealed that practically there were no holistic tools for solving these problems at the moment.

At present, automated design systems are employed for converting drawings into electronic form. Initially, a 3D-model is created manually according to the paper drawings, and the original drawings are already being recreated from it, but in the electronic form. Reducing the time interval from appearing the drawing of three views of the preliminary studies to the 3D-model is required for the studies simplifying and conceptual flaws revealing. Thus, creation of the unified program for real objects modelling presents great scientific and practical interest.

Such program can be obtained, combining the initial software package with one of the automated design systems. Thus, the possibility of immediate transition from the drawing of three views to the 3D-model will appear. Such program advent will significantly accelerate the process of 3D-models creation, which, in its turn will allow immediate conceptual flaws revealing and accelerate various kinds of studies.

Keywords: obtained results transference, an aircraft with ducted rocket engine, volume-weight layout, three-dimensional solid-state model, drawing of three views.

References

1. Raznoschikov V.V. *Polet*, 2008, no. 4, pp. 28-32.
2. Sorokin V.A., Yanovskii L.S., Kozlov V.A. et al. *Proektirovanie i otrabotka raketno-pryamotochnykh dvigatelei na tverdom toplive* (Design and development of solid-propellant ducted rocket engines), Moscow, MG TU im. N.E. Bauman, 2016, 317 p.
3. Bol'shakov V.P., Bochkov A.L., Lyachek Yu.T. *Tverdotel'noe modelirovanie detalei v SAD-sistemakh: AutoCAD, KOMPAS-3D, SolidWorks, Inventor, Creo; 3D-modeli i konstruktorskaya dokumentatsiya sborok* (Solid-state modeling of parts in CAD systems: AutoCAD, KOMPAS-3D, SolidWorks, Inventor, Creo), St. Petersburg, Izdatel'skii Dom Piter, 2014, 304 p.
4. Efremov G.V., Nyukalov S.I. *Inzhenernaya i komp'yuternaya grafika na baze graficheskikh sistem* (Engineering and computer graphics based on graphic systems), Moscow, Tonkie naukoemkie tekhnologii, 2014, 256 p.
5. Melendez F. *Drawing from the Model: Fundamentals of Digital Drawing, 3D Modeling, and Visual Programming in Architectural Design*. John Wiley & Sons, 2019, 352 p.
6. Tedeschi A. *AAD Algorithms-Aided Design: Parametric Strategies using Grasshopper*. Napoli, Edizioni Le Pensur, 2014, 496 p.
7. Singh S. *Beginning Google Sketchup for 3D Printing*. Apress, 2010, 328 p.
8. Ritland M. *3D Printing with SketchUp*. Packt Publishing, 2014, 136 p.
9. Company ASKON, <http://www.ascon.ru/>
10. Ganin N.B. *Trekhmernoe proektirovanie v KOMPAS-3D* (Three-dimensional design in KOMPAS-3D), Moscow, DMK Press, 2012, 784 p.
11. Ganin N.B. *Proektirovanie i prochnostnoi raschet v sisteme KOMPAS-3D V13* (Design and strength analysis in the KOMPAS-3D V13 system), Moscow, DMK Press, 2011, 320 p.
12. Zinov'ev D.V. *Osnovy modelirovaniya v SOLIDWORKS. Prakticheskoe rukovodstvo po osvoeniyu programmy SolidWorks v kratchaishie sroki* (Fundamentals of modeling in SolidWorks), Moscow, DMK Press, 2017, 240 p.
13. Company Autodesk, <http://www.autodesk.ru>
14. Sorokin V.A., Yanovskii L.S., Kozlov V.A. et al. *Raketno-pryamotochnye dvigateli na tverdykh i pastoobraznykh toplivakh* (Ramjet rocket engines on solid and pasty fuels), Moscow, Fizmatlit, 2010, 317 p.
15. Vetrov V.V., Morozov V.V., Kostyanoi E.M., Os'kin A.S., Fedorov A.C. Caliber air-intake device for a flying vehicle with rocket-ramjet engine. *Aerospace MAI Journal*, 2019, vol. 26, no. 2, pp. 70-80.
16. Aleksandrov V.N., Bytskevich V.M., Verkholomov V.K. et al. *Integral'nye pryamotochnye vozdushno-reaktivnye dvigateli na tverdykh toplivakh* (Integrated ramjet engines on solid propellants), Moscow, IKTs "Akademkniga", 2006, 343 p.
17. Lapushkin V.N., Minin N.V. Peculiarity of thermodynamic calculation of low-sized air breathing engine with free-piston drive and diaphragm-type compressor. *Aerospace MAI Journal*, 2010, vol. 17, no 4, pp. 96-105.
18. Akimov G.A., Borodavkin V.A., Zaimko V.A. et al. *Aerodinamicheskie kharakteristiki letatel'nykh apparatov: uchebnoe posobie dlya vuzov* (Aircraft aerodynamic characteristics), St. Petersburg, BG TU im. D.F. Ustinova, 2003, 118 p.
19. Sidel'nikov R.V., Tropin A.B. *Aerodinamika raket* (Aerodynamics of rockets), Chelyabinsk, YuUrGU, 1997, 42 p.
20. Gritsenko N.A., Ikryannikov E.D. *Raschet aerodinamicheskikh kharakteristik samoleta* (Airplane aerodynamic characteristics computing), Moscow, VVIA im. N.E. Zhukovskogo, 1994, 255 p.
21. Brusov V.S., Petrushik V.P., Kuznetsov A.V. Investigation of wing airfoils for low-speed high-altitude unmanned aerial vehicles. *Aerospace MAI Journal*, 2013, vol. 20, no 3, pp. 19-31.
22. Mikeladze V.G., Titov V.M. *Osnovnye geometricheskie i aerodinamicheskie kharakteristiki samoletov i raket* (Basic geometric and aerodynamic characteristics of aircraft and missiles), Moscow, Mashinostroenie, 1990, 143 p.
23. Zel'dovich Ya.B. *Teoriya udarnykh voln i vvedenie v gazodinamiku* (Theory of shock waves and an introduction to gas dynamics), Moscow-Leningrad, AN SSSR, 1946, 187 p.
24. Borisenko A.I. *Gazovaya dinamika dvigatelei* (Gas dynamics of engines), Moscow, Oborongiz, 1962, 793 p.
25. Frohlich A. *CAD/CAM/CAE Observer*, 2011, no. 4(64), pp. 53-62. URL: http://www.cadcamcae.lv/hot/PROSTEP_n64_p53.pdf