

УДК 378.4

doi:10.18720/SPBPU/2/id24-164

*Чёрненький Андрей Владимирович*<sup>1</sup>,  
доцент, канд. экон. наук;  
*Сушников Виктор Александрович*<sup>2</sup>,  
доцент, канд. техни. наук;  
*Кудаков Александр Владимирович*<sup>3</sup>,  
директор Высшей инженерной школы

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОЗАДАЧНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДУЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ**

<sup>1, 2, 3</sup> Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого;

<sup>1, 3</sup> andrey@qmd.spbstu.ru, <sup>2</sup> sushnikov\_va@spbstu.ru

**Аннотация.** В настоящее время полёты в космос совершаются исключительно на ракетах (большой частью на Союзах). Все системы ракет доведены до максимального технического уровня, в том числе системы автоматики. Это позволяет разгрузить космонавтов во время полёта за исключением случаев отказа автоматики. Однако есть два существенных недостатка: перегрузки и малый размер космических кораблей. По этой причине отряды космонавтов, астронавтов, тайконавтов довольно малочисленные, что является проблемой для изучения космоса. Помимо малочисленности отрядов, доставка грузов на орбитальную станцию также является дорогим мероприятием. Для решения данных проблем предложено заменить ракеты на космосамолёт, который позволит открыть дорогу в космос большему количеству специалистов разных областей. Ещё один существенный плюс космосамолёта — это его многоразовость. Поэтому применение космосамолёта существенно удешевит доставку грузов в космос и обратно.

**Ключевые слова:** космосамолёт, Kerbal Space Program (KSP), многозадачность, многоразовость, модульная конструкция.

*Andrei V. Chernenkii*<sup>1</sup>,  
Candidate of Economic Sciences, Associate Professor;  
*Viktor A. Sushnikov*<sup>2</sup>,  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;  
*Alexander V. Kudakov*<sup>3</sup>,  
Director of the Higher School of Engineering

## MODELING OF A MULTITASKING TECHNICAL SYSTEM USING A MODULAR DESIGN

<sup>1,2,3</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia;  
<sup>1,3</sup> andrey@qmd.spbstu.ru, <sup>2</sup> sushnikov\_va@spbstu.ru

**Abstract.** Nowadays, space flights are carried out exclusively on rockets (mostly on Soyuz). All missile systems have been brought to the maximum technical level, which is especially true for automation. This allows astronauts not to strain themselves during the flight, except in cases of automation failure. However, there are two significant drawbacks — overloads and the small size of spaceships. For this reason, the detachments of cosmonauts, astronauts, and taikonauts are quite small, which is a problem for space exploration. In addition to the small number of detachments, cargo delivery to the orbital station is an extremely expensive event. To solve these problems, it is proposed to replace rockets with a cosmo plane, which will allow more specialists from different fields to make their way into space. Another significant advantage of the spaceplane is its reusability. Therefore, the use of a spaceplane will significantly reduce the cost of cargo delivery to space and back.

**Keywords:** spaceplane, Kerbal Space Program (KSP), multitasking, reusable, modular design.

### Введение

С начала космических полётов человечество применяет ракеты, которые в наши дни доведены до совершенства. При всех достижениях ракетостроения до сих пор есть нерешенные проблемы: необходимость в стартовом комплексе, перегрузки при взлёте, малый размер полезной нагрузки, высокая степень одноразовости. Частично вышеперечисленные недостатки пытаются решать в разных странах путем внедрения возвращаемых ступеней и разработки крупных космических кораблей. Однако остается необходимость в стартовом комплексе и перегрузки.

Для решения этих проблем предложено заменить ракеты на космосамолёт, который сможет взлетать с существующих аэропортов, лететь в космос для выполнения разных задач и завершать полёт посадкой в обычном аэропорту.

Сложность проекта заключается в следующем:

– невозможность обычным самолётным двигателям работать в открытом космосе;

- недостаточная мощность двигателей для достижения 1 космической скорости;
- недостаточная прочность фюзеляжа для полётов в космосе;
- недостаточная прочность крыльев и хвостового оперенья обычных самолётов для прохода плотных слоёв атмосферы на 1 космической скорости.

Работа выполнена на платформе Kerbal Space Program (KSP) [1–2].

### 1. Техническое задание

Для успешной реализации проекта был определен ряд условий:

1. Возможность совершать полностью беспилотный полёт по аналогии с «Бураном».
2. Высокая манёвренность как во время полёта в космосе и в атмосфере, так и во время руления после посадки.
3. Возможность длительного полёта в условиях атмосферы (на случай невозможности посадки в основном аэропорту).
4. Отсутствие жестких требований к длине взлётно-посадочной полосы (ВПП),
5. Модульная структура для реализации многофункциональной эксплуатации.
6. Возможность стыковки в космосе (предусмотреть стыковочный узел) для работы по доставке экипажа или грузов на орбитальную станцию.
7. Взлёт с ВПП.
8. Начальная стадия полёта (до вывода в космос) должна быть обеспечена ракетными ускорителями.

Создание модели летательного аппарата невозможно без проведения предварительных расчетов. Полная аэродинамическая сила разрабатываемого космосамолёта вычисляется по формуле (1):

$$R = c_R \rho \frac{V^2}{2} F, \quad (1),$$

где  $c_R$  — коэффициент полной аэродинамической силы;  $\rho$  — массовая плотность воздуха;  $V$  — скорость воздушного потока или скорость движения тела;  $F$  — площадь миделя, т. е. наибольшее по площади поперечное сечение тела, движущегося в воде или воздухе.

Следующий важный этап — расчёт площади крыла [2]:

$$S = lb_{cp}, \quad (2),$$

где  $b_{cp}$  — средняя геометрическая хорда;  $l$  — длина крыла.

Помимо площади крыла важно рассчитать полную аэродинамическую силу крыла:

$$R = c_R \rho \frac{V^2}{2} S, \quad (3)$$

где  $c_R$  — коэффициент полной аэродинамической силы, величина которого зависит от угла атаки, формы профиля, форма крыла в плане и обработки его поверхности;  $\rho$  — массовая плотность;  $V$  — скорость полёта;  $S$  — площадь крыла в плане.

Расчет аэродинамических характеристик тел в переходном режиме приведен в работе [4].

Трудности решения аэродинамических задач обтекания пространственных тел потоком разреженного газа вызвали развитие инженерных полуэмпирических методов, использующих накопленные экспериментальные и расчетные данные. При моделировании натуральных условий необходимо учитывать влияние основных критериев подобия. Число Кнудсена  $Kn$  и число Рейнольдса  $Re$  определялись так:

$$Kn = \frac{\lambda}{L}, \quad (4)$$

$$Re = \frac{\rho_{\infty} V_{\infty} L}{\mu}, \quad (5)$$

$$Kn \approx \frac{M}{Re}, \quad (6)$$

где  $\lambda$  — длина свободного пробега,  $L$  — характерный размер тел,  $\mu$  — коэффициент вязкости,  $M$  — число Маха.

В условиях гиперзвуковой стабилизации более рационально использовать в качестве критерия разреженности не число Кнудсена, а число Рейнольдса [3].

## 2. Моделирование сборочного и испытательного этапа

После формирования ряда условий можно перейти к моделированию космосамолёта на платформе KSP. Для реализации проекта был выбран самолёт среднего размера, который в KSP обозначается деталями MK2.

Для обеспечения многозадачности аппарата рассматривались разные комбинации модулей. На рисунке 1 представлен вариант доставки грузов на орбитальную станцию, для которого использован малый грузовой отсек и стыковочный узел.

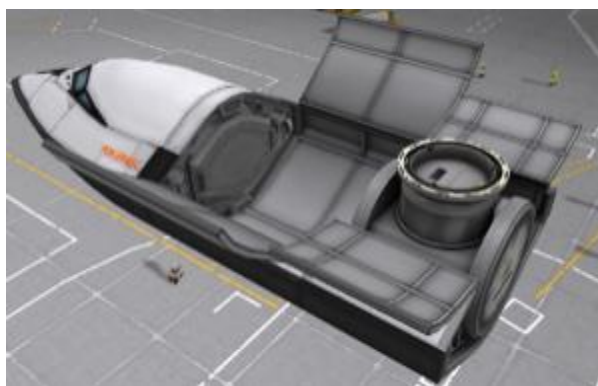


Рис. 1. Компоновка для доставки грузов на орбитальную станцию

На рисунке 2 представлен вариант доставки экипажа на орбитальную станцию, для которого использован пассажирский отсек и стыковочный узел.



Рис. 2. Доставка экипажа на станцию

На рисунке 3 представлен грузовой вариант для доставки набора спутников связи на высокие орбиты планеты, для которого использован большой грузовой модуль.



Рис. 3. Грузовой вариант для доставки набора спутников связи

На рисунке 4 представлен научный вариант, для которого использованы пассажирская кабина и малый грузовой модуль, что соответствует размеру большого грузового отсека или пассажирского модуля вместе с отсеком со стыковочным узлом. Таким образом, выполнено условие многозадачности. В работе рассмотрен вариант для доставки экипажа на орбитальную станцию.

Дальнейший этап сборки космосамолёта — создание технического модуля, который состоит из аккумуляторов, антенны, портативных реакторов.



Рис. 4. Научное оборудование для орбитальных экспериментов

Оснащение топливными баками. Необходимо установить баки с жидким топливом для атмосферного полёта, баки с ракетным топливом для полёта в космосе и бак с монотопливом для работы блоков маневровых двигателей.

Следующим этапом моделирования космосамолёта является разработка вопросов аэродинамики, что позволит аппарату летать в атмосфере. Необходимо помнить, что элементы аэродинамики должны выдержать прохождение через атмосферу на первой космической скорости. Поэтому нет возможности оснастить наш космосамолёт крыльями и механизацией обычного самолёта. Устанавливаем несущие крылья и механизацию от «Бурана». Данное решение является оптимальным по двум причинам: в «Буране» успешно применили эти типы крыльев и механизации во время полета, каждое такое крыло несёт дополнительное жидкое топливо. Для завершения аэродинамики устанавливаем носовые стабилизаторы, 2 кия на боковые топливные баки, аэротормоза по 3 штуки на крыло для уменьшения скорости при заходе на посадку.

После разработки вопросов аэродинамики аппарата можно перейти к выбору двигателей. Для маневрирования в космосе необходимо использовать блоки маневровых двигателей, изготавливаемых в Екатеринбурге. Выбор маршевого двигателя оказался очень непростой задачей, так как двигатель должен быть небольшим, но при этом давать хорошую тягу в космосе и атмосфере. После изучения всех вариантов, был выбран двигатель CR-7 «Рапира».

Для перемещения по полосе и рулѐжным дорожкам с высокой степенью манѐвренности установлено среднее шасси LY-35. Каждое шасси имеет 2 колеса. Все шасси поворотные. Схема установки шасси: 1 носовое и 3 задних под топливными баками.

### 3. Первый полёт в космос с выходом на круговую орбиту и возвратом на планету

На рисунке 5 показан комплекс в торце взлетно-посадочной полосы.



Рис. 5. Готовность к взлёту

Моделирование взлёта показало хорошие результаты (рис. 6).



Рис. 6. Начало набора высоты

Формирование орбиты. На высоте 65.000 началось формирование круглой орбиты с использованием ракетного ускорителя. Далее произошёл сброс ускорителя и завершение формирования круговой орбиты.

Орбитальные испытания космосамолёта. На орбите был предусмотрен набор испытаний всех систем: изменение направления, проверка на возможность открытия в космосе двери в стыковочном и грузовом отсеке, проверка возможности долгосрочного включения освещения без пе-

ребоев с электроснабжением. На рисунке 7 показан космосамолёт на орбите с открытыми дверями грузового отсека и активированным стыковочным узлом.



Рис. 7. Проверка активации стыковочного узла

После успешного моделирования орбитальных испытаний моделируется возвращение космосамолёта на планету. Для этого необходимо учесть траекторию схода с орбиты Шаттлов и Бурана [5–6].

Встроенная автоматика позволила успешно реализовать все этапы посадки аппарата на ВПП аэрокосмического центра.

### **Заключение**

В статье рассмотрен сложный процесс разработки космосамолёта. Сформировано проектное задание, на основании которого проведена конструкторская работа и моделирование космосамолета.

Особое внимание уделено модульности и автоматизации комплекса. В результате проведённых работ было создано несколько вариантов космосамолёта, описаны конструктивные особенности и задачи каждой версии. Полная автоматизация комплекса позволяет проводить полёт без пилотов, что ранее получилось реализовать только один раз на столь крупных аппаратах — Буран.

Все этапы разработки успешно промоделированы на платформе Kerbal Space Program, проверена полная работоспособность всех систем. На основании вышесказанного может быть сделан вывод об успешной реализации поставленных задач.

### **Список литературы**

1. Kerbal Space Program (description). [Electronic Source]. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Kerbal\\_Space\\_Program](https://ru.wikipedia.org/wiki/Kerbal_Space_Program) (date of access: 01.09.2023).



2. Чёрный А.В. Космическое моделирование. Kerbal Space Program: учебное пособие. – СПб.: Изд-во «НПО Ленинец», 2017. – 470 с.

3. Арсеньев Д.Г., Боряев А.А., Куранов А.Л. Механика полёта: учебное пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 418 с.

4. Мьинт З.М., Хлопков А.Ю., Зин Чжо, Тху Рейн Тун. Использование локального метода для расчета аэродинамических характеристик гиперзвуковых летательных аппаратов в переходном режиме // Электронный журнал «Труды МАИ». – 2012. – № 53. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-lokalnogo-metoda-dlya-rascheta-aerodinamicheskikh-harakteristik-giperzvukovyh-letatelnyh-apparatov-v-perehodnyh-rezhime> (дата обращения: 01.09.2023).

5. Как посадить Space Shuttle из космоса [Электронный ресурс] – URL: <https://habr.com/ru/company/ua-hosting/blog/472212/> (дата обращения: 01.09.2023).

6. Как садятся космические шаттлы [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru-cosmos.livejournal.com/466067.html> (дата обращения: 01.09.2023).