

# СОВРЕМЕННАЯ КОНЦЕПЦИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВЕРТИКАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ САМОЛЁТОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

**Н.В. Куланов**

*ФАУ ГосНИИАС*

Россия, 125319, Москва, Викторенко ул., 7

E-mail: kulanov\_nv@gosniias.ru

**Ключевые слова:** вертикальная навигация, высотно-скоростной профиль, оптимизация.

**Аннотация:** в данном докладе рассматривается современная концепция решения задач вертикальной навигации самолётов гражданской авиации.

## 1. Введение

В настоящее время в отечественных и зарубежных авиационных парках имеется достаточное количество практически реализованных ССВ. Однако, в силу известных причин, достоверная информация о используемых в них методах решения задач вертикальной навигации отсутствует. Среди немногочисленных открытых публикаций, отражающих состояние вопроса на конец XX - начало XXI века можно отметить работы [1-3]. Анализируя её можно прийти к выводу, что в основу предлагаемых на то время методов решения задач вертикальной навигации положено рассмотрение квазистационарных режимов движения ВС и проведение анализа потребных и располагаемых тяг (кривые Жуковского). Результатом такого рассмотрения являлись таблицы, определяющие требуемые значения параметров движения ВС для каждого этапа полёта. Эти таблицы можно поместить в память вычислительной системы ССВ и, интерполируя их на текущие параметры ВС (в частности вес), находить для текущего времени требуемые параметры полёта. Понятно, что такие рассуждения слишком поверхностные и не отражают в полной мере сущность методов решения задач в то время, но главным здесь является то, что в основе их лежит рассмотрение некоторых установившихся решений без учёта динамики изменения параметров полёта ВС.

В отличие от таких подходов, имеющиеся в настоящее время возможности бортовых вычислительных систем, а также развитие теории и методов исследований динамических систем вместе с широким арсеналом методов вычислительной математики, позволяют сформулировать современную концепцию решения задач вертикальной навигации. Сущность её определяется следующими тремя положениями:

1) При решении задач вертикальной навигации необходимо использовать динамические модели движения ВС, определяемые дифференциальными уравнениями движения центра масс ВС.

2) В основу методов исследования и решения практических задач должны быть положены современные методы теории управления, включающие, в частности, понятия «объект управления», «управляющая система» и критерий оптимальности.

3) Разработка алгоритмического обеспечения для решения задач вертикальной навигации должна базироваться на имеющемся в настоящее время арсенале методов вычислительной математики.

В соответствии с данной концепцией, задачи вертикальной навигации должны решаться в рамках показанной на рисунке 1 блок-схемы.

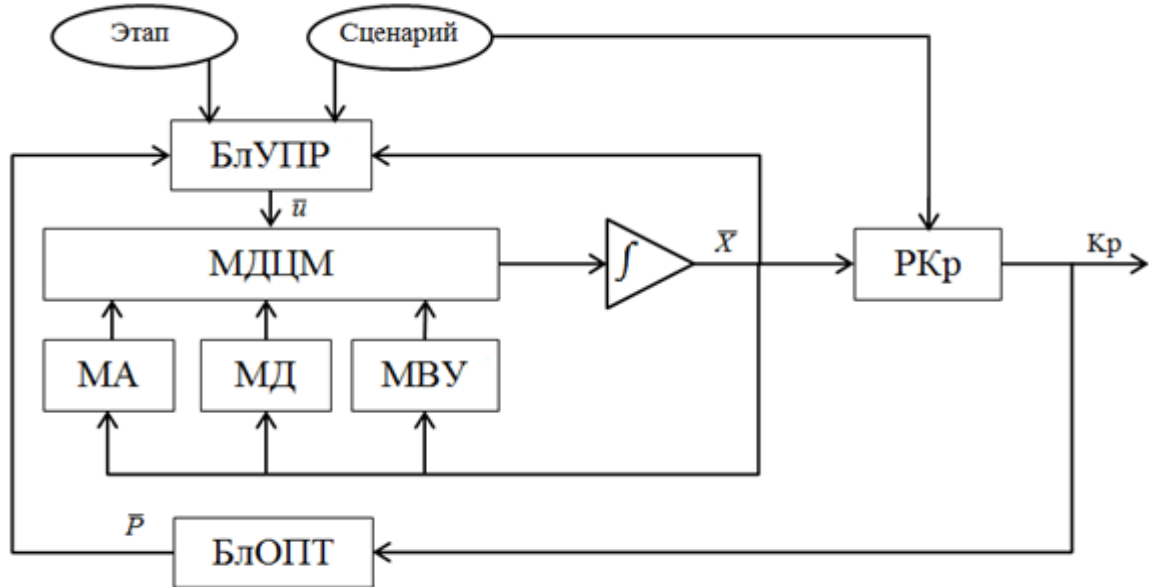


Рис. 1.

Здесь: МДЦМ – модель движения центра масс ВС, записанная в форме дифференциальных уравнений; МА, МД, МВУ – модели аэродинамики, двигателя, внешних условий, включая ветер, соответственно; БлУПР – блок формирования вектора  $\bar{u}$  управления моделью; РКр – блок расчёта значений критерия оптимальности  $K_p$ ; БлОПТ – блок поиска оптимальных значений вектора параметров  $\bar{P}$ ;  $\bar{X}$ ,  $\bar{u}$  – вектор фазовых координат и управления соответственно.

Как видно из блок-схемы, каждая конкретная задача должна решаться для заданного этапа и сценария полёта, определяемого экипажем ВС.

Центральное место в блок-схеме занимают модели движения центра масс ВС, которые различны для этапов полёта и решаемой задачи. Большое влияние на них оказывает рассматриваемый участок траектории. Учитывая, что типовые траектории можно представить в виде значительного по длине «прямолинейного» участка полёта ВС между соседними ППМ и достаточно коротким участком перехода, для каждого из них целесообразно принять различные модели. При этом участки перехода между ППМ, по видимому, можно не рассматривать в задаче формирования высотно-скоростного профиля, а в задаче прогноза использовать упрощенные модели. Для повышения точности решения задачи прогноза на «прямолинейных» участках следует использовать полные модели, учитывающие как ускорения от активных сил, так и дополнительные ускорения от относительного движения и изменения массы ВС.

В задачах формирования высотно-скоростного профиля, в виду малости значений дополнительных ускорений ( $\approx 10^{-3}g$ ), их можно не учитывать. Примеры таких моделей можно найти в работах [4-6].

Важное место в блок-схеме занимают модели МА, МД, МВУ. Они обеспечивают получение результатов решения задач вертикальной навигации адекватных получаемым в реальных полётах конкретных ВС. Предлагаемая там методика аппроксимации табличных значений обеспечивает высокую точность и возможность

использования необходимых методов поиска оптимальных значений параметров движения ВС на всех этапах полёта.

Следующим важным элементом представленной на рисунке 1 блок-схемы является БлУПР. Он предназначен для формирования в каждый момент времени вектора управления  $\bar{u}$ , как функции вектора фазовых координат  $\bar{X}$  (при заданном этапе полёта и сценария). Построение таких управлений базируется на методах решения обратных задач динамики и используется в работах [4-6].

Блок расчёта значений критерия определяется физическим содержанием критерия и разработка его обычно не вызывает затруднений.

Блок оптимизации предназначен для организации процесса поиска оптимального вектора параметров  $\bar{P}$ . Учитывая многообразие существующих методов решение этой задачи неоднозначно, но среди возможных следует выбирать такие, которые обеспечивают:

- достаточную точность решения;
- близкое к минимальному время расчёта;
- гарантированную сходимость итерационного процесса поиска.

## **2. Составляющие предлагаемой концепции**

Как показывают исследования, достигнутый в настоящее время уровень развития теории управления динамическими системами и современные возможности вычислительных систем позволяют, в принципе, получать решения сформулированных выше задач вертикальной навигации на основе современных подходов к их решению без использования традиционно принимаемых допущений. В основу таких подходов можно положить реализацию в вычислительной системе ССВ всех необходимых моделей связанных с решением задач вертикальной навигации, а также методов оптимизации и поиска требуемых решений. В этом случае решение задач вертикальной навигации базируется не на отработке заранее рассчитанных режимов движения ВС, а на результатах решения задач вертикальной навигации, оперативно полученных в ВСС с учётом текущих характеристик и положения ВС, а так же состояния атмосферы и взлётно-посадочной полосы.

Это приводит к новой функциональности бортового оборудования, возможности более полного учёта требований СУВД и АК, снижению стоимости эксплуатации ВС и повышению безопасности полётов.

Для реализации предлагаемого подхода к решению задач вертикальной навигации необходимо в первую очередь провести необходимые исследования и получить решения следующих задач:

- сформировать полное множество моделей движения ВС для всех этапов полёта ВС, учитывающие все существенные факторы, влияющие на значения критериев качества решения задач, при минимуме требований к вычислительным ресурсам;
- разработать методы моделирования характеристик воздушной среды, позволяющие использовать всю располагаемую информацию о её текущем и прогнозируемом состоянии;
- разработать методы аппроксимации исходных данных по характеристикам двигателей и аэродинамике, обеспечивающие возможность моделирования не одного, а заданного типа ВС;
- определить методы реализации этих моделей на реально существующих и доступных для использования вычислительных средствах;

- разработать программно-алгоритмическое обеспечение, реализующее достаточный набор методов вычислительной математики и оптимизации, предполагаемых к использованию при решении рассматриваемого круга задач;
- разработать программно-аппаратный комплекс для проведения исследований и отработки алгоритмов задач вертикальной навигации.

Современная технология комплексного решения задач управления движущимися объектами и прогноза параметров их состояния предполагает создание некоторого специализированного программно-аппаратного комплекса, позволяющего получать не только отдельные уникальные решения, но и проводить широкие параметрические исследования с учетом всех ограничений и заданных критериев качества. Помимо этих функциональных свойств такой комплекс должен обладать определёнными свойствами, позволяющими демонстрировать заказчикам или оппонентам преимущества предлагаемых новых концептуальных подходов к решению задач вертикальной навигации.

Разработка такого программно-аппаратного комплекса, помимо создания собственно алгоритмического обеспечения для решения задач вертикальной навигации, является одной из важных составляющих предлагаемой концепции.

## Список литературы

1. Миеле А. Механика полёта. Т. 1. Теория траекторий полёта / Перевод с англ. А.Н. Рубашова; Под ред. А.А. Космодемьянского. М.: Наука, 1965.
2. Ojha S.K. Flight Performance of Aircraft. Published by American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc, Washington, DC.
3. Введение в лётно-технические характеристики ВС. Airbus. Русская версия. Издание 1. Октябрь 2007.
4. Голубева А.А., Куланов Н.В. Методика выбора значений параметров этапа взлет самолетов гражданской, военно-транспортной авиации и беспилотных летательных аппаратов // Изв. РАН. ТиСУ. 2020. №1.
5. Голубева А.А., Куланов Н.В. Методика и оптимизация этапа набора высоты в задаче вертикальной навигации самолётов гражданской и военно-транспортной авиации // Изв. РАН. ТиСУ. 2021. № 4.
6. Голубева А.А., Куланов Н.В. Исследование и оптимизация этапа крейсерского полёта самолётов гражданской авиации в задаче вертикальной навигации. // Изв. РАН. ТиСУ. 2022. № 4.