

Программно-методическое обеспечение системы прогноза вихревой обстановки

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»

Показаны подходы к математическому моделированию течений в вихревом следе за летательными аппаратами. Рассмотрены методики расчета характеристик вихревого следа и их интеграция в существующие системы мониторинга состояния атмосферы в районе аэродрома.

Ключевые слова: спутный след, летательный аппарат, взлетно-посадочные режимы, аэродинамические характеристики.

Введение

Разработка и создание математических моделей вихревого следа с целью изучения процессов его формирования и развития с течением времени, а также обеспечения безопасности полетов в условиях воздействия вихревого следа на ЛА является актуальной задачей. При этом интеграция численных моделей вихревого следа в системы инструментального мониторинга атмосферы в районе аэродрома обеспечит дифференциальный подход к выполнению взлетно-посадочных операций, что, в свою очередь, дает возможность надеяться на увеличение пропускной способности аэродромов, снижение расходов топлива и экономических затрат.

Постановка задачи исследования

Процесс формирования и развития вихревого следа можно условно разделить на зоны (рис. 1), что предполагает дробление методики расчета его характеристик на три этапа.

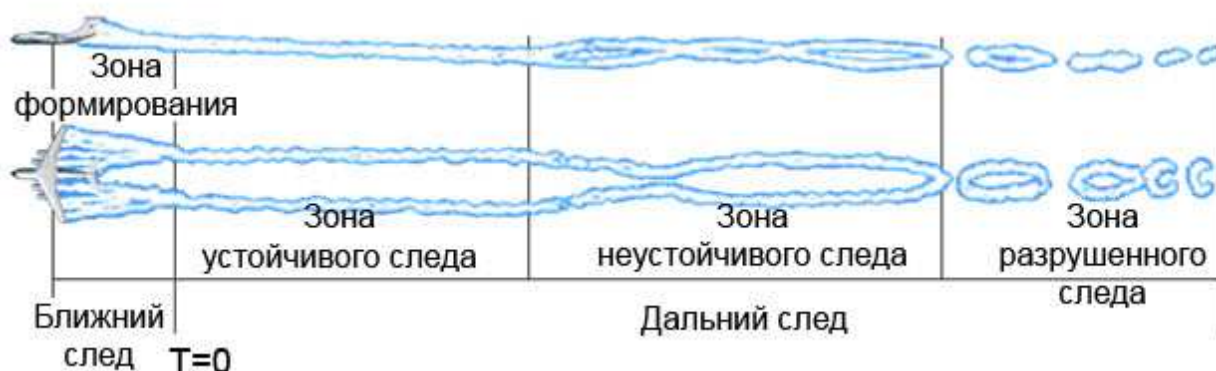


Рис. 1. Структура вихревого следа

Первый этап расчета предполагает расчет характеристик спутного следа за исследуемым ЛА, т. е. решается задача о его обтекании. Расчет характеристик спутного следа выполняется до удаления от ЛА-генератора спутного следа, где

течение в нем становится автомодельным, что позволяет выдвинуть утверждение о полностью сформировавшемся вихревом следе (рис. 2).

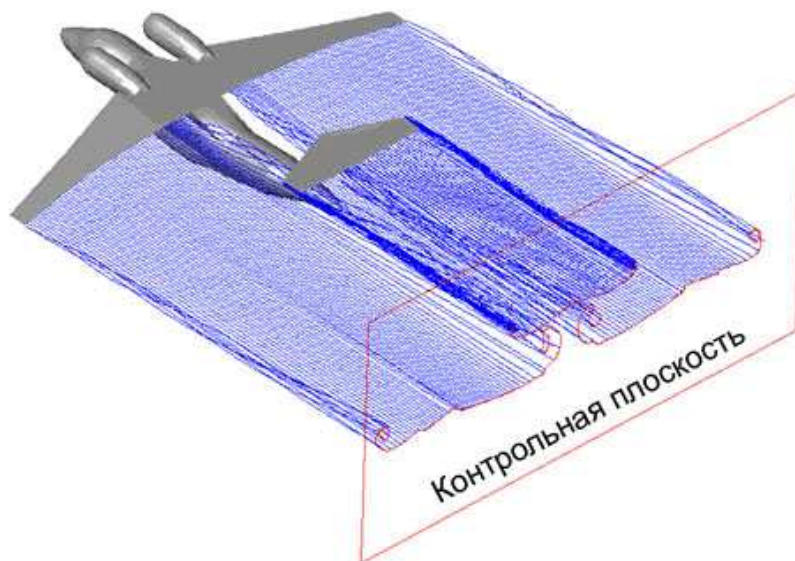


Рис. 2. Пример размещения контрольной плоскости

Второй этап расчета: за исходные данные расчета характеристик вихревого следа принимаются данные, полученные на первом этапе. Расчет характеристик вихревого следа ведется до момента времени, когда вихревой след прекращает свое «существование» по какой-либо причине или до заданного удаления от самолета-генератора вихревого следа.

Третий этап расчета выполняется параллельно–последовательно второму этапу. Здесь определяются геометрические размеры зон возмущений, сгенерированных вихревым следом, их пространственное положение, степень опасности для ЛА, следующего за самолетом-генератором вихревого следа.

Результаты решения задачи об определении характеристик вихревого следа используются системой прогноза вихревой обстановки согласно блок-схеме, представленной на рис. 3.

Формирование вихревого следа зависит от многих факторов:

- аэродинамической схемы и компоновки ЛА;
- геометрических характеристик ЛА;
- размещения и типа силовой установки ЛА;
- режимов полета и обтекания ЛА;
- стратификации атмосферы;
- влияния плоскости раздела сред и т. п.

ЛА с крылом большого удлинения ($\lambda = \frac{l^2}{S} > 4$), как правило, генерируют вихревой след, представляющий собой два мощных вихря, которые с точки зрения механики являются слабо интерферирующими стационарными образованиями. Такой вихревой след с течением времени затухает благодаря турбулентной вязкости. ЛА с крылом малого удлинения и сложной формы в плане генерируют вихревой след, который может состоять из нескольких вихрей, интенсивно взаимодействующих друг с другом. Такие вихревые образования –

неустойчивы, с точки зрения механики течения в них и являются нестационарными. Однако и ЛА с крылом $\lambda > 4$ также может генерировать вихревой след, состоящий из множества вихрей, например в случае, когда выпущена механизация задней кромки крыла (взлетно-посадочная конфигурация ЛА), что приводит, в свою очередь, к нестационарности течения в вихревом следе.

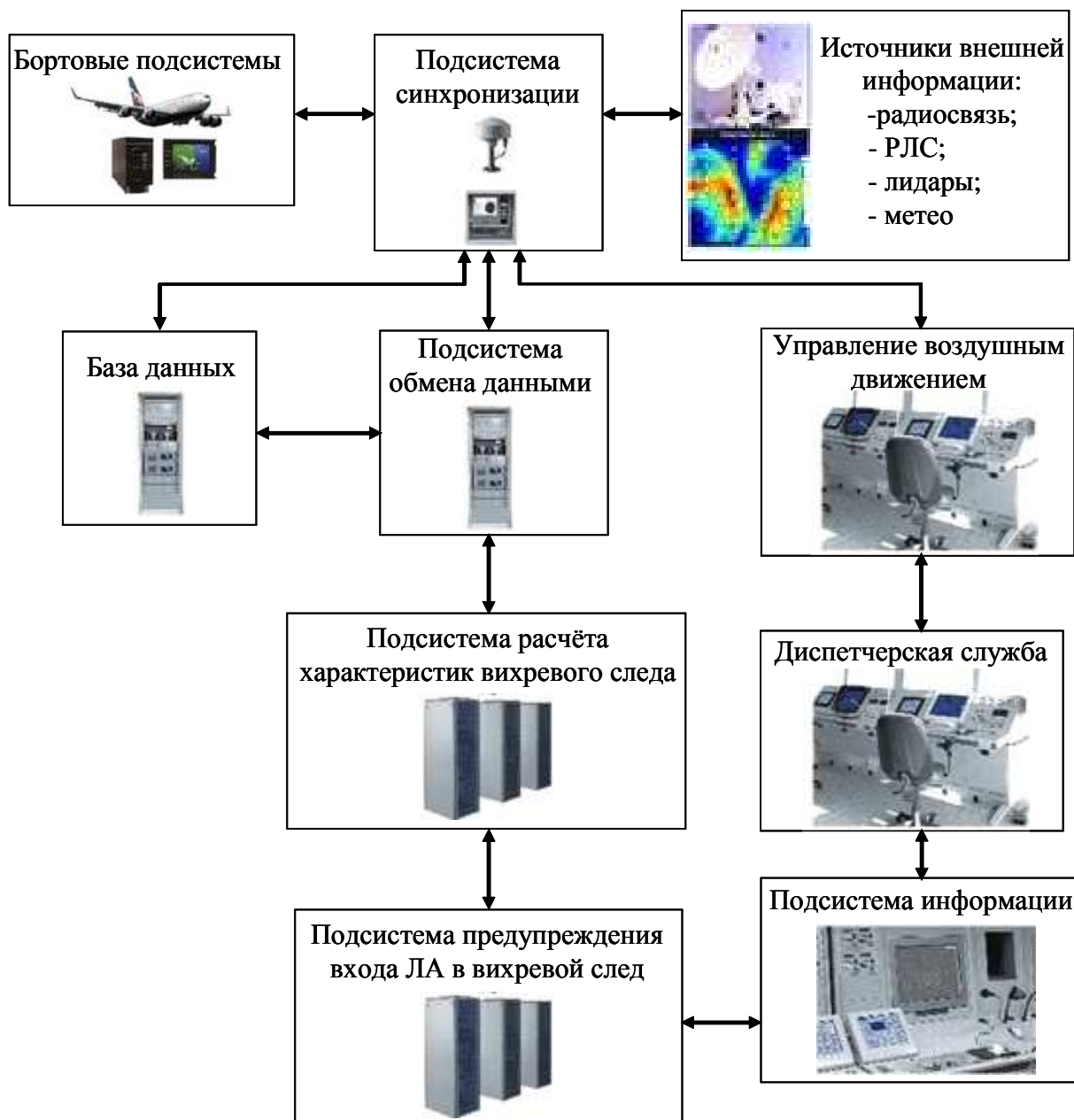


Рис. 3. Структура системы прогноза вихревой обстановки

Таким образом, для математического моделирования таких принципиально различных явлений необходимы принципиально разные математические модели (ММ):

- математические модели стационарного обтекания ЛА;
- математические модели нестационарного обтекания ЛА;

- математические модели стационарного обтекания ЛА, построенные на решении уравнений Навье–Стокса.

В свою очередь, ММ подразделяются таким образом:

- математические модели в линейной постановке решения задачи;
- математические модели в нелинейной постановке решения задачи.

Исходя из этого, строятся соответствующие ММ обтекаемой поверхности исследуемого ЛА. Пример таких моделей представлен на рис. 4.

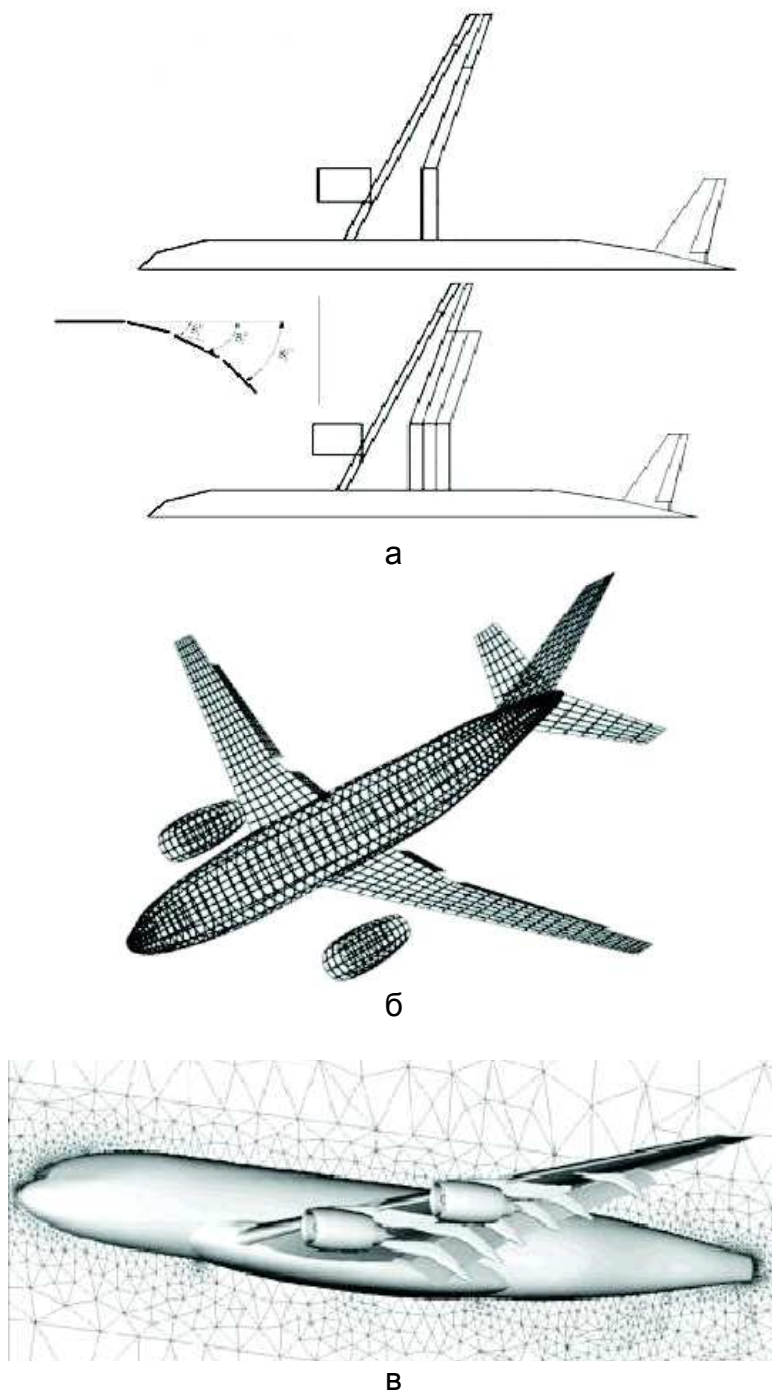


Рис. 4. Пример математической модели обтекаемой поверхности ЛА:
а – линейная ММ поверхности ЛА; б – нелинейная ММ поверхности ЛА;
в – сеточные методы

Алгоритм решения задачи об обтекании ЛА-генератора вихревого следа (первый этап расчета вихревого следа) представлен на блок-схеме (рис. 5). Заданный тип ЛА выбирается из базы данных математических моделей поверхностей (если такая модель не существует в базе данных, она создается). Режим полета, полетная конфигурация, кинематические параметры невозмущенного потока задаются пользователем системы. Введенные данные являются исходными данными для решения задачи об обтекании ЛА-генератора вихревого следа. Полученные результаты расчета записывают в базу данных (если они не существуют) для повторного их использования на последующих этапах расчета характеристик вихревого следа.

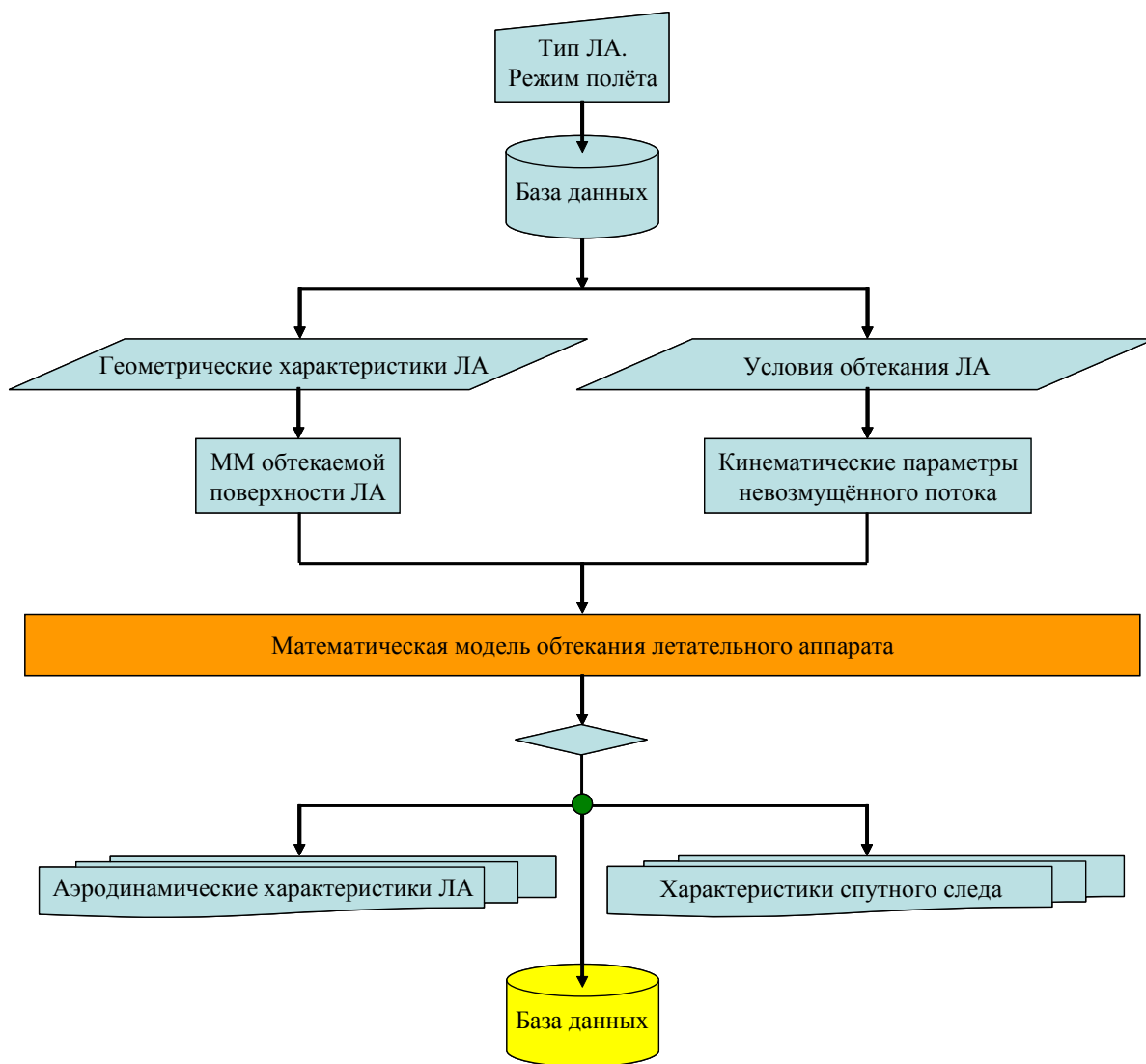


Рис. 5. Блок-схема решения задачи об обтекании ЛА

Блок-схема методики расчета характеристик вихревого следа представлена на рис. 6. Математическая модель вихревого следа предполагает учет множества факторов: стратификацию атмосферы, направление и скорость ветра, наличие плоскости раздела сред («экран») и т. п.

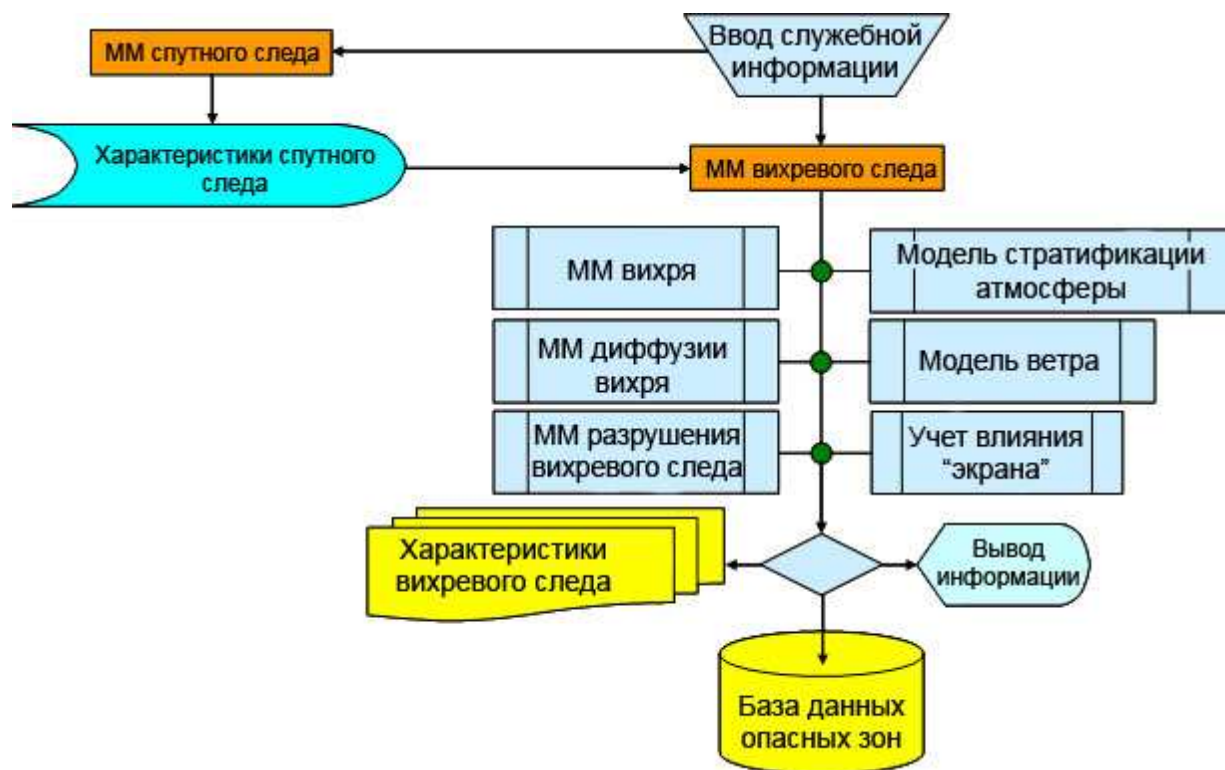


Рис. 6. Блок-схема расчета характеристик вихревого следа

Результаты расчета характеристик вихревого следа сохраняются в базе данных, соответствующих исходным данным расчета, для повторного использования.

Полученные в результате расчета характеристики вихревого следа используются в качестве исходных данных математической моделью динамики возмущенного движения ЛА в вихревом следе (рис. 7) с целью определения степени влияния вихревого следа на последующий ЛА, пространственного положения опасных зон, принятия решения на маневр уклонения ЛА от входа в эти зоны.

Данные, полученные в ходе расчета, выводятся на устройство вывода информации (аудио- и видеоустройства). Устройство вывода информации проецирует вихревой след на предполагаемую траекторию полета последующего ЛА, взлетно-посадочную полосу (ВПП) с оценкой предполагаемой угрозы для благоприятного прохода ЛА через зону, возмущенную вихревым следом.

Выводы

1. Анализ процесса формирования и развития вихревых следов за летательными аппаратами позволил разбить его на этапы, и в соответствии с этими этапами предложены блок-схемы методик расчета характеристик спутного следа за исследуемыми ЛА.

2. Результаты решения задачи об определении характеристик вихревого следа могут быть использованы предлагаемой системой прогноза вихревой обстановки аэродрома.

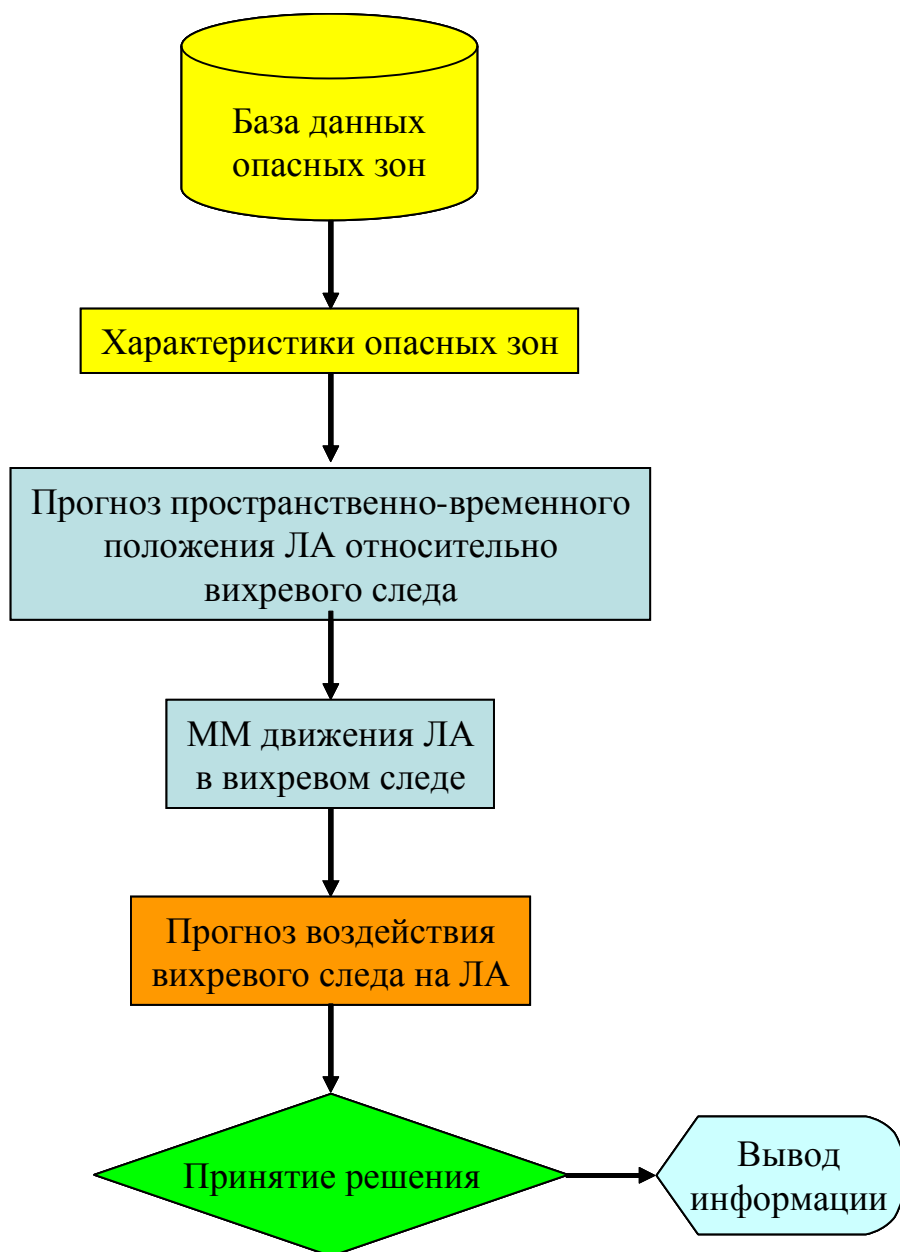


Рис. 7. Блок-схема расчета возмущенного движения ЛА в вихревом следе

Список литературы

1. Желанников, А. И. В спутном вихре [Текст] / А. И. Желанников // Гражданская авиация. – 1990. – № 2. – С. 112 – 118.
2. Зелей, С. Исследование вихрей в следе с помощью термоанемометра и вихреметра [Текст] / С. Зелей // Ракетная техника и космонавтика. – 1976. – Т. 14. – № 5. – С. 179 – 181.
3. Соловьев, О. В. Анализ методов исследования спутного следа летательного аппарата при проведении летных экспериментов [Текст] / О. В. Соловьев // Проблеми створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки: тези доп. Міжнар. наук.-техн. конф. – Х. : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «ХАІ». – 2013. – С. 131.

4. Соловьев, О. В. Анализ процесса формирования вихревых следов за летательным аппаратом [Текст] / О. В. Соловьев, В. Н. Кобрин, В. В. Чмовж // Системи озброєння і військова техніка. – Х. : Харк. ун-т повітряних сил ім. Івана Кожедуба. – 2013. – Вып. 2 (34). – С. 93 – 98.

Рецензент: д.т.н., проф. В. Н. Кобрин, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.
Поступила в редакцию 15.12.14

Програмно-методичне забезпечення системи прогнозу вихрової обстановки

Показано підходи до математичного моделювання течії у вихровому сліді за літальними апаратами. Розглянуто методики розрахунку характеристик вихрового сліду і їхня інтеграція у існуючі системи моніторингу стану атмосфери в районі аеродрому.

Ключові слова: спутний слід, літальний апарат, злітно-посадочні режими, аеродинамічні характеристики.

Methodical software of vortex situation forecast

The approaches to mathematical modeling of flow in the vortex wake behind the aircraft are showed. The calculating methodologies of the wake vortices characteristics and their integration into existing monitoring system of the atmosphere in terminal area are viewed.

Keywords: vortex wake, aircraft, takeoff and landing modes, aerodynamic characteristics.