

**МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ГТД ПО КРИТЕРИЯМ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

Ткаченко А.Ю., Кузьмичёв В.С.

Самарский государственный аэрокосмический университет

**METHOD OF GTE MANAGEMENT OPTIMIZATION BASED ON AIRCRAFT
EFFICIENCY CRITERIA**

Tkachenko A.Y., Kuzmichev V.S. Constraint-driven method of GTE management optimization based on aircraft efficiency criteria is described. The method is based on dynamic programming and min-max principle of optimality for objective function.

От программы управления силовой установкой зависит характер изменения параметров движения ЛА в процессе полета, время полета, потребный запас топлива и, в конечном итоге, значения критериев, характеризующих эффективность эксплуатации ЛА при выполнении конкретной задачи. При этом, критерии эффективности ЛА являются функционалами, и их значения зависят от выбора функции управления двигателями.

Задача оптимизации управления ГТД с использованием математической модели полета ЛА не разрешима традиционными аналитическими методами вариационного исчисления. Поэтому ее решение возможно только численными методами динамического программирования.

Метод динамического программирования основан на принципе оптимальности Беллмана, сформулированного для решения широкого круга задач управления, распадающихся на ряд последовательных этапов (шагов). Функция управления складывается из совокупности шаговых управлений, то есть значений параметров управлений на каждом шаге дискретного процесса. Если задано начальное состояние системы, то последовательность шаговых управлений однозначно определяет последовательность переходов системы из одного состояния в другое.

Задача оптимизации управления заключается в поиске такой последовательности шаговых управлений, при которой значение целевой функции в конце процесса достигает оптимума.

Состояние, в которое перейдет система на очередном шаге, зависит только от предыдущего состояния и управления на этом шаге. В соответствии с принципом Беллмана для текущего состояния оптимум целевой функции является условием оптимальности управления на последующих этапах. Следовательно, на последнем шаге легко найти оптимальный переход в конечное состояние одним из численных методов параметрической оптимизации. Для предпоследнего шага выполняется аналогичная операция, но при проверке каждого варианта управления выполняется оптимизация управления на последнем шаге. Аналогично, при изменении управления на текущем шаге повторяется рекуррентная оптимизация управления на последующих шагах, поскольку вывод об оптимальности управления на каждом из шагов можно сделать только после того, как будет определено оптимальное управление на всех последующих этапах и рассчитано значение целевой функции. Таким образом, задача поиска оптимальной функции управления, может быть сведена к n вложенным задачам параметрической оптимизации.

На основании описанного метода можно сформулировать следующий алгоритм решения задачи оптимизации управления ГТД:

1. Задаются начальные значения параметров управления ГТД на каждом участке траектории и значения параметров состояния ЛА в начальной точке. Оптимизация

начинается с расчета первого участка траектории.

2. В зависимости от состояния ЛА в начале участка и значений параметров управления ГТД рассчитываются значения параметров состояния в конце участка.

3. Если текущий участок траектории не является последним, то осуществляется переход к расчету следующего участка траектории. Если текущий участок траектории является последним, то рассчитываются значения критериев эффективности ЛА и целевой функции.

4. Проверяется выполнение условия сходимости решения при текущих значениях параметров регулирования ГТД на данном участке траектории. Если условие сходимости решения не выполняется, то определяются новые значения параметров регулирования и расчет повторяется с пункта 2. Если условие сходимости решения выполняется и текущий участок траектории является первым, то расчет останавливается. В ином случае осуществляется возврат к оптимизации управления на предыдущем участке траектории, начиная с пункта 4.

Каждая из вложенных задач оптимизации управления ГТД на отдельном участке траектории может быть решена с помощью одного из широко используемых численных методов параметрической оптимизации.

Во разработанном методе многомерной многокритериальной оптимизации рациональным является использование минимаксного принципа оптимальности, который позволяет рассчитывать значение целевой функции на основе совокупности критериев. В соответствии с данным принципом, минимизируемой величиной является максимальное значение из набора нормированных критериев эффективности.

При исследовании различных вариантов управления ГТД необходимо учитывать совокупность ограничений на режимы полета ЛА и работы его силовой установки, к ко-

торым относятся ограничения по скорости полета, углу атаки планера, частотам вращения роторов, температуре рабочего тела перед турбиной двигателя.

Кроме того, следует учитывать тот факт, что не при любом варианте управления возможно выполнение заданного процесса полета ЛА (например, горизонтальный полет ЛА с постоянной скоростью и максимальной коммерческой нагрузкой при работе двигателей на режиме «малого газа»). А поскольку не всегда возможно рассчитать такой процесс до конца и определить значение целевой функции, то при оптимизации функций управления с учетом ограничений невозможно воспользоваться стандартными методами штрафных и барьерных функций. При нарушении ограничений необходимо корректировать значение целевой функции таким образом, чтобы движение в сторону нарушения ограничений было невыгодным. В данной работе целевой функции присваивалось фиксированное, заведомо большее значение, по сравнению с нормированными значениями критериев эффективности, которые она принимает при вариантах управления, не приводящих к нарушению ограничений в течение процесса. Кроме того, в алгоритме учтено на каком шаге процесса произошло нарушение ограничений. Чем ближе к началу процесса было нарушено ограничение, тем большее значение присваивалось целевой функции. И третья составляющая поправки зависит от величины превышения ограничений.

Таким образом, метод оптимизации управления ГТД по критериям эффективности ЛА основан на методе динамического программирования и выполняется путем разбиения непрерывного процесса на совокупность дискретных шагов и решения вложенных задач параметрической оптимизации значений функции управления на каждом шаге с учетом ограничений.