

Кубланов М.С., Ципенко В.Г.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОСАДКИ САМОЛЁТА ИЛ-96-300
В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ СЦЕПЛЕНИЯ
И ОГРАНИЧЕНИЙ ПО БОКОВОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СКОРОСТИ ВЕТРА**

В данной работе представлены результаты расчётов посадки самолёта Ил-96-300 в условиях низких коэффициентов сцепления и наличия боковой составляющей скорости ветра. В соответствии с перечнем расчётных случаев (РС), согласованным с АК им. С.В. Ильюшина, расчёты проводились с помощью математического моделирования [1 – 3] для определения последствий функциональных отказов систем самолёта.

Вычислительные эксперименты (ВЭ) были проведены при следующих эксплуатационных условиях:

- масса самолёта 175 т;
- центровка 35 % САХ;
- конфигурация $\delta_3/\delta_{пр} = 40^\circ/25^\circ$;
- ветровое воздействие в виде постоянного заданного значения скорости W слева;
- соотношения значений скорости бокового ветра и коэффициента сцепления $\mu_{сц}$

взлетно-посадочной полосы (ВПП) заданы согласно Руководству по лётной эксплуатации самолёта [4].

Функциональные отказы в ВЭ выбраны наиболее неблагоприятными с точки зрения безопасности полетов (БП): заход на посадку самолёта с одним отказавшим двигателем (левым внутренним № 2) и отказ второго двигателя (левого крайнего № 1) в момент касания ВПП. Основную сложность в пилотировании на посадке с отказами двигателей обычно представляет быстро меняющаяся величина разворачивающего момента при смене режима двигателей. Поэтому были рассмотрены два варианта осуществления пробега по ВПП: с реверсом двух правых двигателей и с реверсом только одного внутреннего правого двигателя, когда внешний двигатель переводится в режим малого газа.

ВЭ проводились для случая стандартных атмосферных условий с использованием обычных приёмов пилотирования самолёта с помощью руля направления и элеронов, а также управления передней стойкой шасси без использования отдельного подтормаживания колес или отдельного регулирования тяги двигателей. Реверс использовался вплоть до остановки самолёта на ВПП.

Рассмотренные РС посадки самолёта Ил-96-300 и результаты расчётов, которые включают в себя ряд оцениваемых для БП параметров его движения, приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Расчётные случаи и результаты вычислительных экспериментов посадки самолёта Ил-96-300

Расчётные случаи		Результаты ВЭ			
Внешние условия		Дистанция	Бок. отклон. на ВПП	Упреждение	Р.н. на пределе
W	$\mu_{сц}$				
м/с		м	м	°	с
Двигатели: № 1 – отказ (в момент касания), № 2 – тяга 0, № 3, 4 – реверс					
15	0,6	1637	-5 ÷ +3	30,4	16
10	0,45	1755	-8 ÷ +3	28,8	18
5	0,3	выкатывание на скорости 94 км/ч			
Двигатели: № 1 – отказ (в момент касания), № 2 – тяга 0, № 3 – реверс, № 4 – МГ					
15	0,6	1753	7	5	
10	0,45	1881	10	7,5	
5	0,3	выкатывание на скорости 163 км/ч			

Анализ параметров посадок с реверсом двух двигателей (верхняя часть табл. 1) показывает:

- посадка со штатным отключением реверса на ВПП минимальной длины без выкатывания на концевую полосу безопасности (КПБ) возможна только при $\mu_{сц} > 0,45$;

- посадка без выкатывания на боковую полосу безопасности (БПБ) возможна только на ВПП с $\mu_{сц} \geq 0,45$;

- при включении реверса двух двигателей на одном полукрыле необходимо применение очень "жёсткого" управления с резкой реакцией на скорость рыскания и его ускорение;

- на скользкой ВПП выкатывание на БПБ происходит к моменту начала падения обратной тяги при отключении реверса, поэтому применение реверса до полной остановки или до скорости 110 км/ч не играет роли;

- на ВПП с $\mu_{сц} \geq 0,45$ при работе реверса рыскание достигает угрожающего значения в 30° , поэтому основной причиной выкатывания на БПБ на скользкой ВПП следует считать невозможность остановить рыскание из-за слабеющей эффективности аэродинамических рулей и практического отсутствия эффективности управления передней стойкой шасси.

Анализ результатов расчётов поведения самолёта на посадке с использованием реверса только одного внутреннего двигателя до полной остановки (нижняя часть табл. 1) показывает:

- посадка на ВПП минимальной длины без выкатывания на КПБ возможна только при $\mu_{сц} > 0,6$;

- посадка без выкатывания на БПБ возможна только на ВПП с $\mu_{\text{сц}} > 0,45$.

Поскольку расход руля направления при этом далёк от полного, то такую посадку можно считать безопасной;

- при использовании реверса одного двигателя необходима манера пилотирования на ВПП, сильно отличающаяся от случая реверса двух двигателей на одном полукрыле;
- на скользкой ВПП выкатывание на БПБ происходит на существенно большей скорости, что связано со слабым тормозным эффектом реверса единственного двигателя;
- непосредственной причиной выкатывания на БПБ со скользкой ВПП следует считать слабеющую эффективность аэродинамических рулей и практическое отсутствие эффективности управления передней стойкой шасси.

Таким образом, проведённые ВЭ посадки самолёта Ил-96-300 с помощью системы математического моделирования [1 –3] позволили выявить особенности его пилотирования на ВПП, имеющих пониженный коэффициент сцепления, при наличии боковой составляющей скорости ветра. ВЭ посадок самолёта Ил-96-300, проведённые для стандартных атмосферных условий и для крайне неблагоприятного стечения обстоятельств, показали следующее:

1. На боковое отклонение самолёта от оси скользкой ВПП на посадке оказывает существенное влияние точность совпадения вектора скорости движения с осью ВПП. Поэтому при боковом ветре и/или отказах двигателей на предпосадочном снижении и выравнивании недопустимо отклонение от направления движения вдоль оси ВПП, а после касания не следует предпринимать заметных усилий рулями для ликвидации упреждения – основные стойки шасси обеспечат это без разбалансировки самолёта.

2. Посадка с использованием реверса двух двигателей с одной стороны на ВПП с $0,45 \leq \mu_{\text{сц}} \leq 0,6$ не может считаться безопасной, так как предотвратить боковое выкатывание может лишь резкая незамедлительная реакция на разворачивающий момент и применение предельного отклонения руля направления более 16 с. Посадка с двумя отказавшими двигателями на ВПП с $\mu_{\text{сц}} < 0,45$ при традиционных способах пилотирования невозможна ввиду выкатывания за пределы БПБ.

3. Безопасная посадка на ВПП достаточной длины с $\mu_{\text{сц}} \geq 0,45$ возможна при использовании реверса одного внутреннего двигателя до полной остановки.

4. Безопасная посадка с двумя отказавшими двигателями на ВПП минимальной длины с $0,45 \leq \mu_{\text{сц}} < 0,6$ допустима только при ограниченной посадочной массе самолёта.

5. Для выработки окончательных рекомендаций по обеспечению БП и расширению

ожидаемых условий эксплуатации в рассмотренных условиях полета и последующего изменения и дополнения Руководства по лётной эксплуатации необходимо проведение более глубоких исследований с помощью математического моделирования и лётных испытаний для оценки влияния следующих факторов:

- времени реакции пилота;
- момента отказа двигателя;
- массы и центровки самолёта;
- аэродинамической конфигурации самолёта;
- соотношения значений боковой составляющей скорости ветра и коэффициента сцепления ВПП;
- состояния атмосферы (температуры, давления).

Библиографический список

1. Кубланов, М.С. Математическое моделирование задач лётной эксплуатации воздушных судов на взлёте и посадке: монография [Текст] / М.С. Кубланов – М.: РИО МГТУ ГА – 2013 г. – 270 с.
2. Кубланов, М.С. Архитектура системы математического моделирования динамики полета летательных аппаратов [Текст] / М.С. Кубланов, В.Г. Ципенко, Д.Д. Бариллов // Математическое моделирование в задачах лётной эксплуатации воздушных судов – М.: МИИГА – 1993 г. – С. 3 – 11.
3. Kublanov, M.S. Mathematical modelization system for aircraft flight dynamics simulation [Текст]/M.S. Kublanov, V.G. Tsypenko // International Aerospace Congress: Proceedings. Moscow – 1994 – Volume 2. – Pp. 92 – 93.
4. Руководство по лётной эксплуатации Ил-96-300 [Текст]. – М.: АК им. С.В. Ильюшина – 1994 г. – 522 с.