

УДК 629.735.015

Сравнительная оценка безопасности посадки самолета Ан-124-100 в двух посадочных конфигурациях

В. Д. Шаров

Аннотация

В статье приведены результаты исследования по сравнительной оценке безопасности выполнения посадки на самолете Ан-124-100 в посадочных конфигурациях 30/17 и 40/17 с целью обоснования приемлемости риска посадки в конфигурации 40/17 при эксплуатации самолета в авиакомпаниях и целесообразности сертификации данного самолета для посадки в обеих конфигурациях.

Ключевые слова

безопасность полетов; риск.

Введение

Самолет Ан-124-100, эксплуатируемый в авиакомпаниях (АК), сертифицирован для выполнения посадок только в конфигурации 30/17 (закрылки 30°, предкрылки 17°). Однако в военно-транспортной авиации самолет Ан-124, в аэродинамическом отношении аналогичный Ан-124-100, выполняет посадки в конфигурации 40/17.

С целью повышения экономической эффективности самолета в АК «Волга-Днепр» был поставлен вопрос о применении конфигурации 40/17 на самолете Ан-124-100. Обращение к разработчику самолета АНТК «Антонов» не дало ожидаемого результата, т. к. в ответе утверждалось, что уменьшение посадочной скорости составляет 1- 2 км/ч и, соответственно, выигрыша в посадочной дистанции практически нет. Однако расчет, выполненный автором ранее на основе [1,2,3,4], показал, что скорости захода на посадку V_3 в конфигурации 40/17 должны быть на 5-8 км/ч, а посадочные скорости V_n на 9-13 км/ч меньше, чем в конфигурации 30/17, Это дает уменьшение посадочной дистанции на 5,5-6,5% или уменьшение потребной длины ВПП на 150-250 м.

Вместе с тем, было установлено, что некоторые вопросы обеспечения безопасности посадки и ухода на второй круг требуют исследований. В данной статье приведены результаты таких исследований по сравнительной оценке риска посадки «на три точки» и касания хвостовой опорой.

Цель исследования

Оценка снижения уровня безопасности полетов (БП) при выполнении посадки в конфигурации 40/17 по сравнению с 30/17 в части возможности посадки «на три точки», а также касания хвостовой опорой при посадке.

Сопутствующей задачей является оценка по статистическим данным посадочных скоростей в различных конфигурациях.

Исходные данные

Исследование выполнено на основе обработки записей бортовых регистраторов полетной информации. Имеются две выборки реальных посадок: 841 посадка в конфигурации 30/17 ($N_{30}=841$) и 679 посадок в конфигурации 40/17 ($N_{40}=679$). Для каждой посадки бортовыми регистраторами записана посадочная масса (Gn , m) и скорость касания (Vn , км/ч).

Допущения

Принято, что события происходят только в следующих случаях:

1. “Посадка на три точки” – при угле атаки $A \leq 3,5^\circ$, поскольку установочный угол атаки крыла самолета Ан-124-100 составляет $3^\circ 30'$ [3];
- 2 “Касание земли хвостовой опорой” – наступает при $A \geq 12,5^\circ$ [3].

Анализ

В ходе анализа решены следующие задачи.

1. Рассчитаны углы атаки с учетом влияния земной поверхности для каждой посадки по данным о посадочной массе Gn и скорости Vn .
2. Получены описательные статистики выборок N_{30} и N_{40} и оценки корреляций Vn и угла атаки (A) по Gn .
3. Выполнен дисперсионный анализ выборок угла атаки, а также сравнительный графический анализ размаха с разбивкой по группам по посадочному весу.
4. Получены теоретические распределения угла атаки.
5. Рассчитаны доверительные интервалы угла атаки по группам Gn .
6. Рассчитаны оценки вероятности наступления рассматриваемых событий в целом по выборкам N_{30} и N_{40} и по группам Gn .

1. Расчет угла атаки

Посадочная скорость V_n как функция G_n и C_y из [3]:

$$V_n = \sqrt{\frac{2G_n}{\rho S(C_y + \Delta C_y)}} \quad (1)$$

где $\rho=0,125 \text{ кг}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$ – плотность воздуха для стандартной атмосферы;

$S=628,5 \text{ м}^2$ – площадь крыла;

C_y – коэффициент подъемной силы;

ΔC_y - поправка на увеличение C_y от близости земли,

откуда

$$C_y + \Delta C_y = \frac{2G_n}{\rho S V^2} . \quad (2)$$

На основании графиков зависимости C_y и ΔC_y от угла атаки A из [3] получены следующие аппроксимации:

$$\begin{aligned} \Delta C_y &= -0,0011A^2 + 0,0078A + 0,1289, \\ \text{для } 30/17 \quad C_y &= 0,0970A + 0,5607, \\ \text{для } 40/17 \quad C_y &= 0,0854A + 0,1087. \end{aligned} \quad (3)$$

Значения A получены совместным решением уравнений (2) и (3).

2. Описательные статистики и корреляция

Каждая из выборок разбита на группы G_n . Описательные статистики вычислены в программе *Statistica-7.0* по известным формулам [5] для всех переменных каждой выборки N_{30} и N_{40} (включая G_n и V_n) и для угла атаки каждой группы, и приведены в табл. 1.

Обозначения переменных в табл. 1:

- G_{30} , V_{30} , A_{30} – соответственно посадочный вес, скорость, угол атаки для конфигурации 30/17.

- 30-220 – угол атаки для веса до 220т включительно, 30-240 – угол атаки для веса от 220,1 до 240т и т. д. – для 30/17.

Переменные для 40/17 обозначены аналогично.

Таблица 1

Описательные статистики переменных

Variable	Descriptive Statistics (ИсхВсе)										
	Среднее Аср	N	Median	Min	Max	25 Percentile	75 Percentile	СКО	Дисперсия D(A)	Асимметрия	Эксцесс
G30	265,625	841	269,300	201,000	329,500	216,400	314,700	45,229	2045,698	0,008	-1,715
V30	246,391	841	247,000	196,000	296,000	230,000	263,000	18,607	346,236	-0,000	-1,027
A30	7,773	841	7,723	4,380	12,371	6,819	8,592	1,341	1,799	0,446	0,284
30-220	7,013	276	6,846	4,640	11,898	6,292	7,649	1,161	1,348	0,813	1,427
30-240	7,530	70	7,265	5,503	9,905	6,679	8,388	1,105	1,221	0,420	-0,727
30-260	7,479	46	7,230	5,444	10,284	6,527	8,198	1,246	1,552	0,552	-0,483
30-280	7,729	72	7,755	4,380	12,149	7,187	8,248	1,149	1,320	0,405	3,016
30-300	8,081	70	7,826	5,826	12,149	7,032	8,500	1,412	1,992	1,057	0,497
30-320	8,482	200	8,287	5,323	12,026	7,699	9,099	1,245	1,549	0,409	0,249
30-330	8,522	107	8,477	5,538	11,921	7,823	9,101	1,018	1,037	0,156	1,751
G40	277,654	679	286,600	207,200	336,700	237,000	317,700	41,191	1696,728	-0,280	-1,422
V40	239,202	679	241,000	195,000	287,000	225,000	254,000	19,035	362,350	-0,195	-0,826
A40	7,646	679	7,540	3,606	12,381	6,537	8,729	1,610	2,591	0,313	-0,083
40-220	7,220	92	7,019	3,926	11,458	6,031	8,178	1,725	2,976	0,336	-0,397
40-240	7,546	87	7,393	4,008	11,890	6,057	8,950	1,787	3,194	0,317	-0,576
40-260	7,330	74	7,129	3,606	10,857	6,300	8,309	1,431	2,048	0,192	-0,080
40-280	7,764	61	7,800	4,012	11,216	6,342	8,936	1,671	2,792	0,088	-0,640
40-300	7,662	85	7,357	4,526	12,374	6,682	8,377	1,596	2,547	0,769	0,687
40-320	7,926	135	7,891	3,640	11,886	6,943	8,782	1,459	2,129	0,206	0,429
40-330	7,818	145	7,702	4,060	12,381	6,720	8,743	1,568	2,459	0,470	0,144
40-330	7,818	145	7,702	4,060	12,381	6,720	8,743	1,568	2,459	0,470	0,144

Расчитаны ошибки среднего $M_{ср}$ и коэффициент вариации K_v :

$$M_{ср} = \sqrt{\frac{D(A)}{N}}, \quad K_v = \frac{\sqrt{D(A)}}{A_{ср}}. \quad (4)$$

Расчеты показали, что:

- средние значений A для 40/17 несколько меньше, чем для 30/17;
- K_v для 40/17, особенно для больших G_n , существенно (на 6-8%) больше, чем для 30/17, что говорит о большем разбросе углов атаки в конфигурации 40/17.

Наглядную картину разброса данных дают диаграммы размаха и рассеивания.

Графики рассеивания V_n/G_n построены для сопутствующей задачи. На рис. 1 приведен график для 30/17, график для 40/17 имеет похожий характер. Корреляция V_n и G_n практически одинаковая, положительная и сильная для обеих конфигураций. Это позволяет использовать регрессии V_n на G_n для сравнения V_n с рекомендуемыми в РЛЭ [1. 2] (рис. 1).

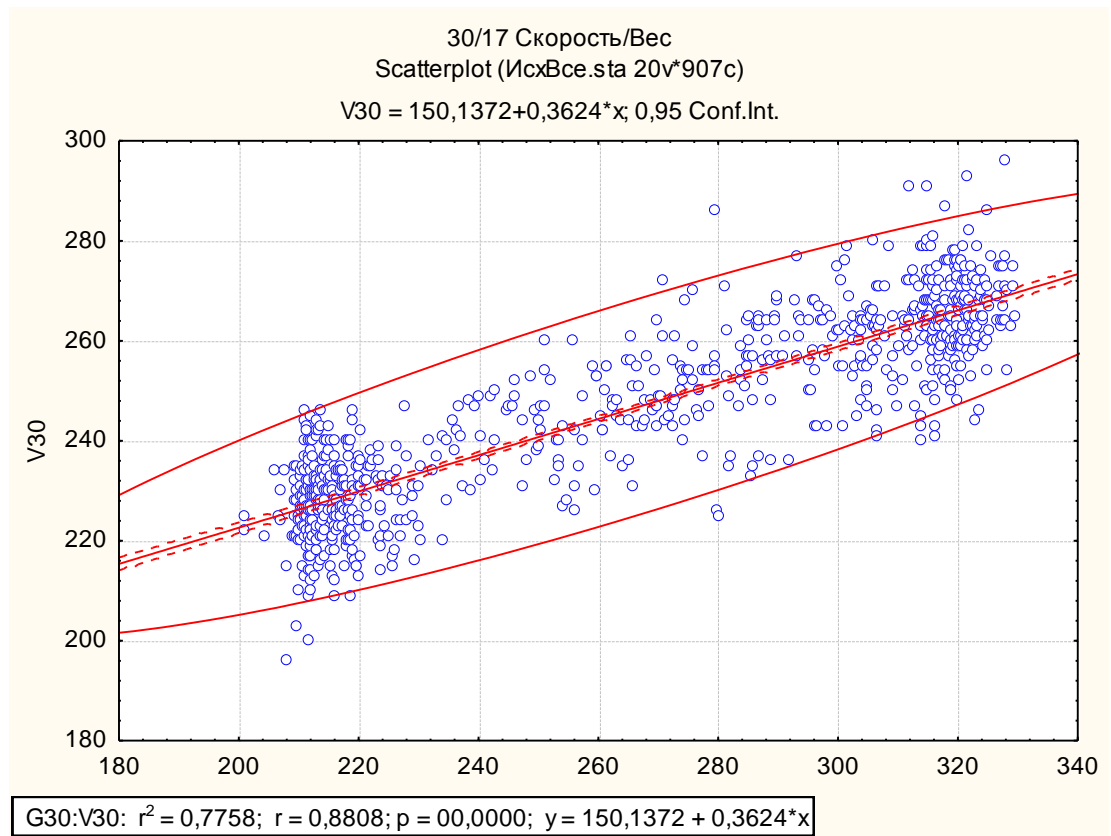


Рис. 1. Корреляция скорости и посадочного веса, 30/17

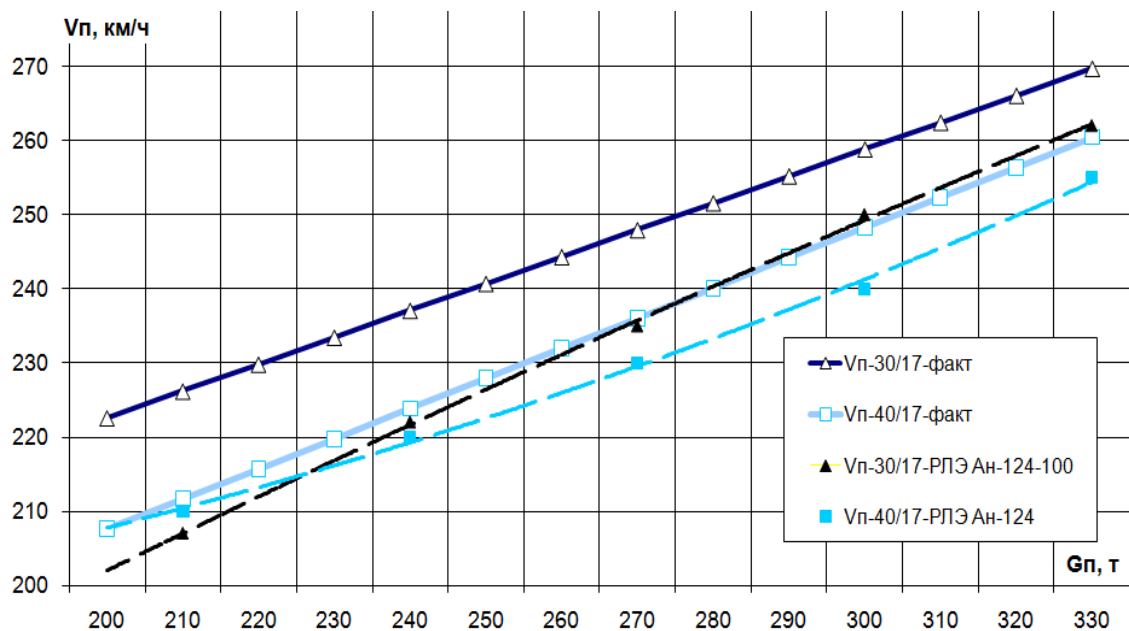


Рис. 2 Посадочные скорости в зависимости от посадочного веса

Из рис. 2 видно, что экипажи выдерживают в среднем $V_{п}$ больше рекомендованных РЛЭ в конфигурации 30/17 – на 8-20 км/ч, в конфигурации 40/17 – на 1-7 км/ч (в зависимости

от Gn). При этом уменьшение Vp в конфигурации 40/17 по сравнению с 30/17 составляет от 9 до 14 км/ч.

3. Дисперсионный анализ и сравнение выборок

Для оценки сходства выборок выполнен простой однофакторный дисперсионный (F -тест) анализ и t -тест для средних значений. Низкие значения F -теста ($P=0,0331$) и t -теста ($P=0,0899$) говорят о существенном статистическом различии выборок угла атаки N_{30} и N_{40} [5, 6]).

Сравнение выборок методом диаграмм размаха выполнено для всех переменных из табл. 1 На рис. 3 приведен пример одной из диаграмм.

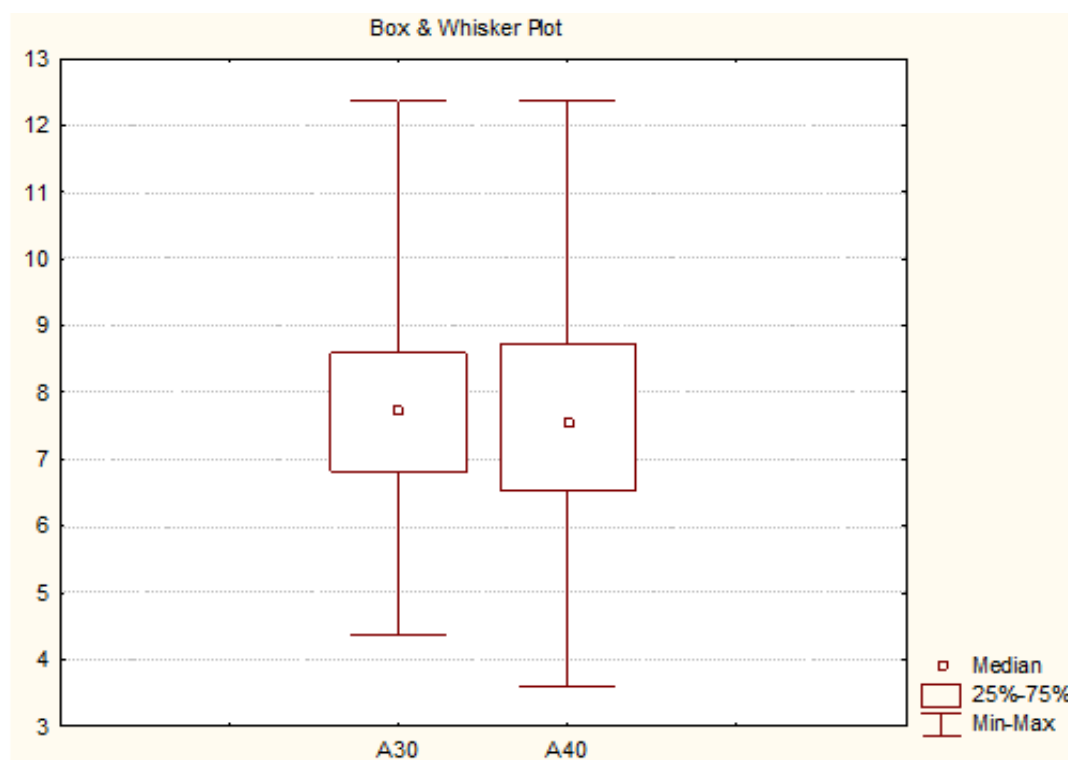


Рис. 3. Сравнение углов атаки по выборкам N_{30} и N_{40} .

В отдельных группах малого Gn средние A для 30/17 оказались равны или меньше, чем для 40/17, но для $Gn>300$ т имеем устойчивое уменьшение A для 40/17 по сравнению с 30/17. При этом разброс углов атаки в конфигурации 40/17 больше для всех групп Gn .

4. Выбор вероятностного закона распределение углов атаки

Из табл. 1 видно, что исходные данные имеют положительную асимметрию и в основном положительный эксцесс, что дает основание рассматривать наряду с нормальным “несимметричные” и более “островершинные” распределения, например, гамма-распределение

На рис. 4 показана аппроксимация данных 30/17 нормальным распределением, а на рис. 5 - гамма-распределением. Нормальное распределение отвергается по критерию Пирсона (*Chi-Square test*) [5]. Гамма-распределение удовлетворяет этому критерию. Аналогично для N_{40} .

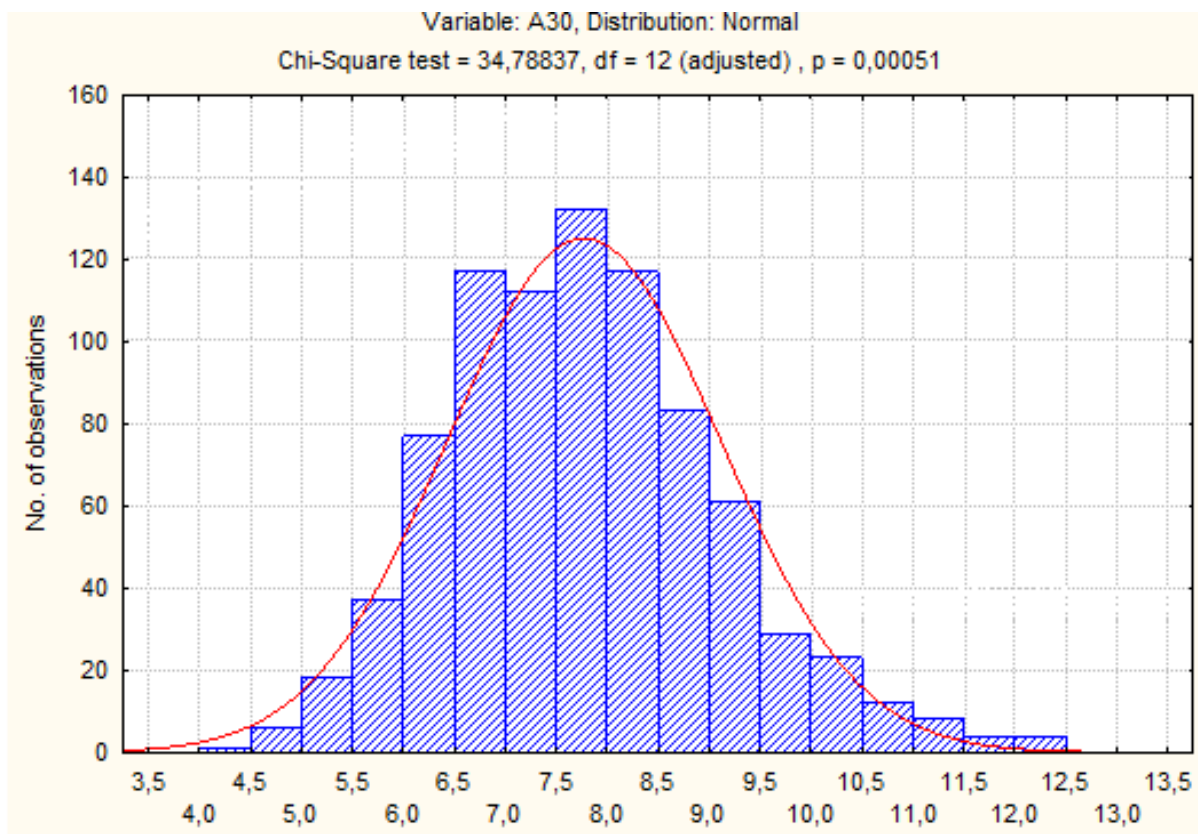


Рис. 4 Гистограмма N_{30} и кривая плотности гамма распределения.

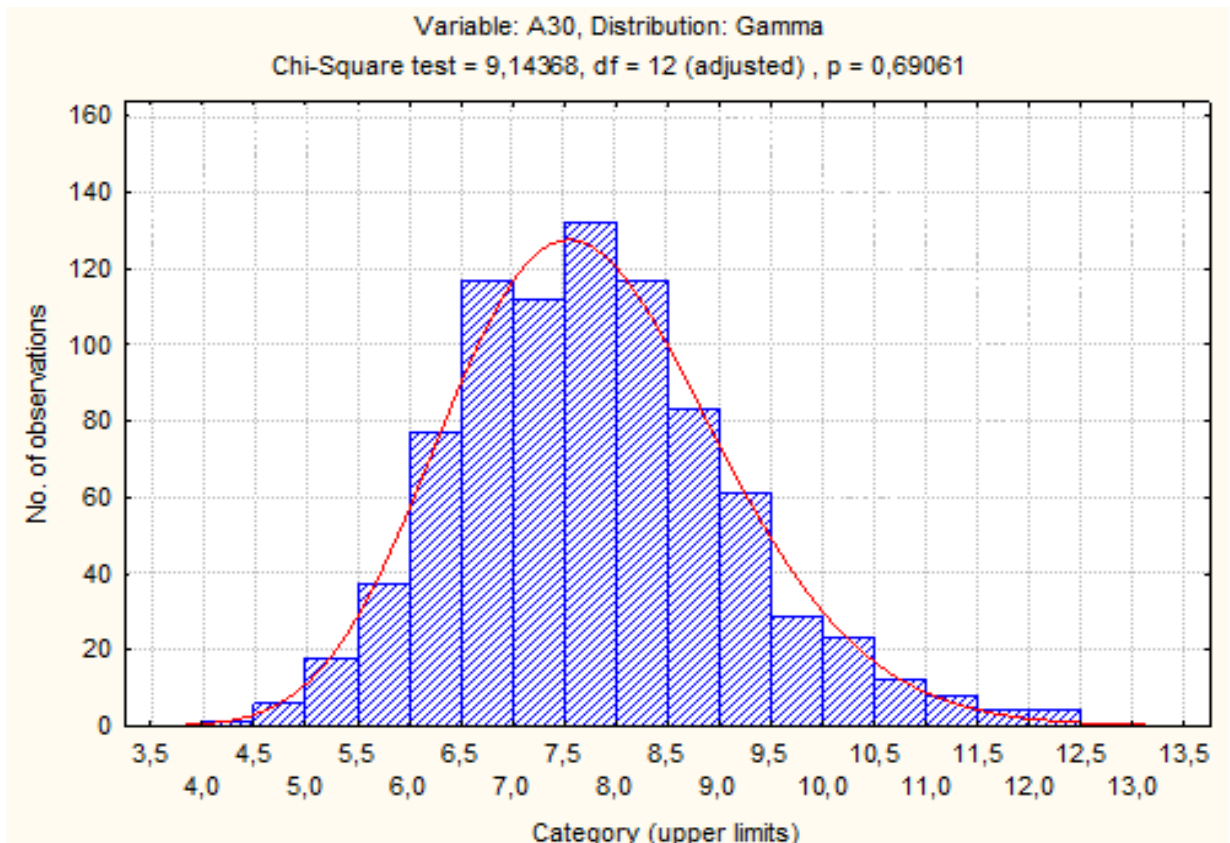


Рис. 5. Гистограмма N_{30} и кривая плотности нормального распределения.

5. Расчет доверительных интервалов угла атаки

Принято, что доверительный интервал располагается так, что выше и ниже его находятся по 2,5% возможных значений A . Для расчета использовался вероятностный калькулятор *Statistica-7,0* результаты приведены на рис. 6 и 7.

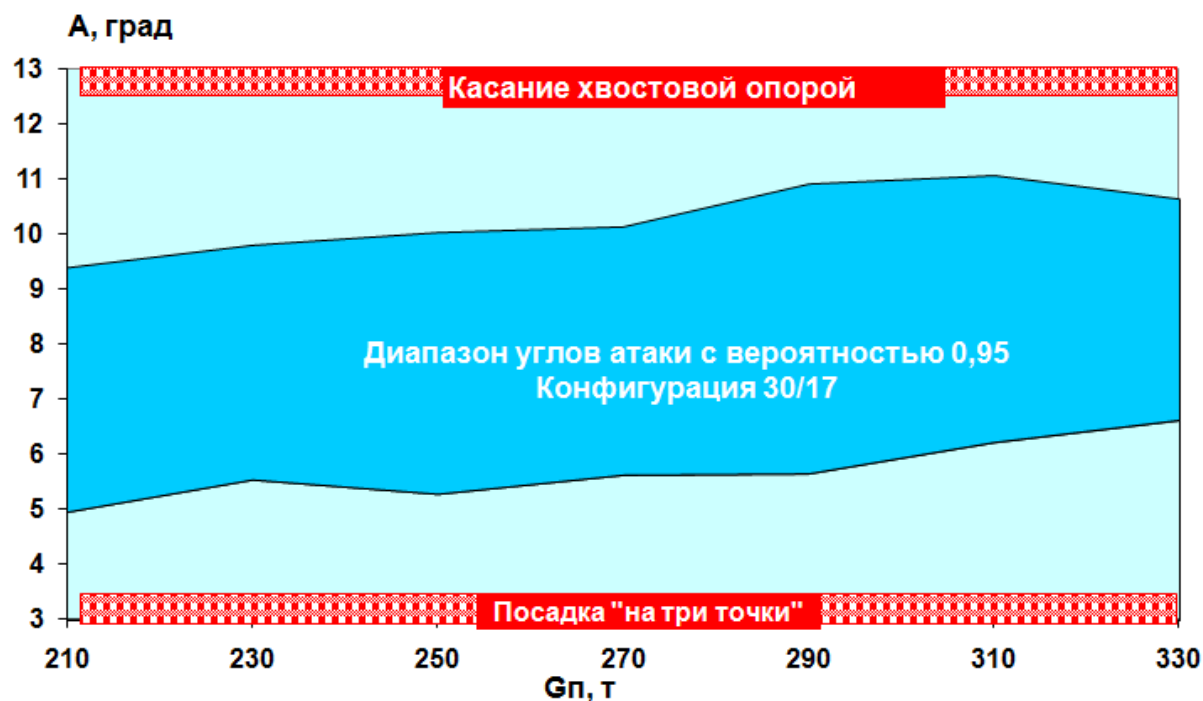


Рис. 6 Доверительный интервал углов атаки, 30/17, по вероятности 0,95

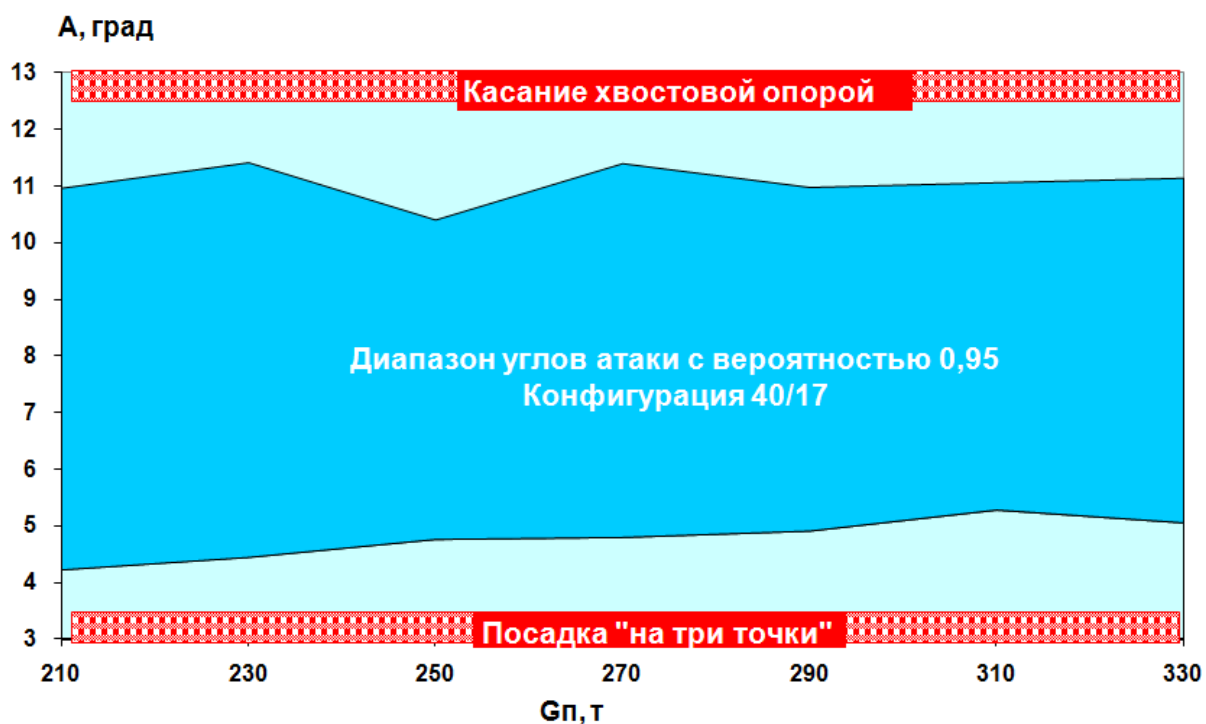


Рис. 7 Доверительный интервал углов атаки, 40/17, по вероятности 0,95

6. Расчет вероятностей рассматриваемых событий при посадке

Расчет выполнен с помощью вероятностного калькулятора на основе гипотезы о гамма распределении углов атаки. Результаты приведены на графиках, рис. 8 и 9.

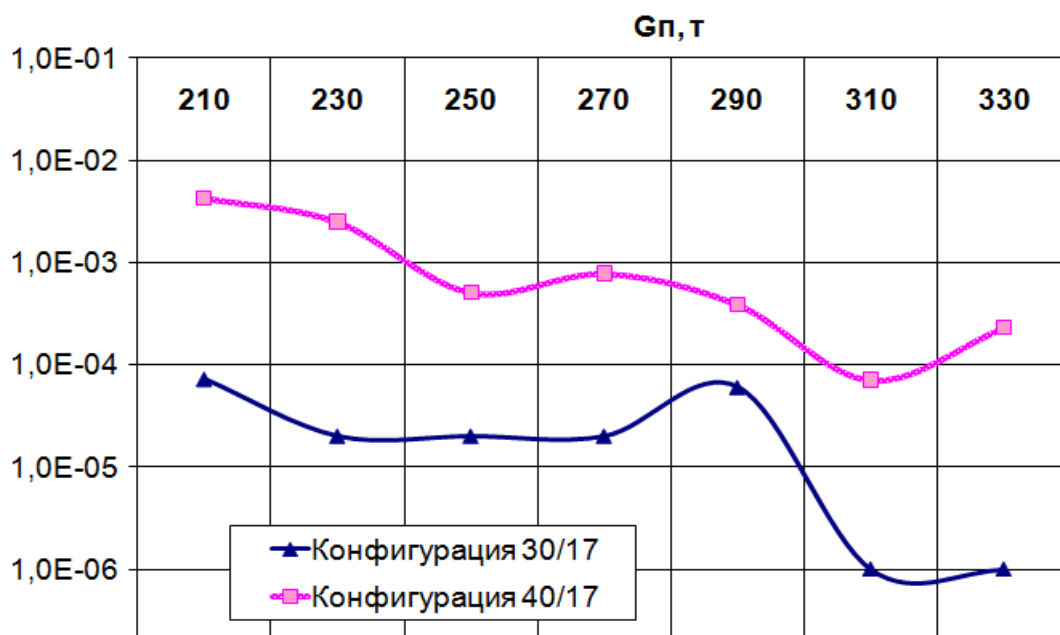


Рис. 8 Оценка вероятности посадки «на три точки» в зависимости от Gn .

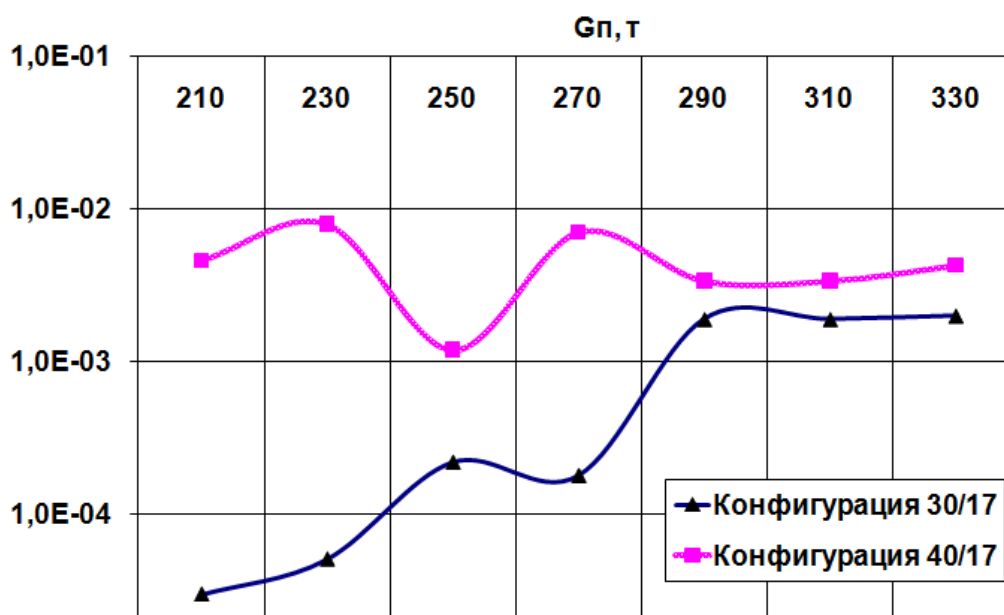


Рис. 9 Оценка вероятности касания хвостовой опорой в зависимости от Gn

Распределения углов атаки для конфигураций 40/17 и 30/17 имеют близкие средние ($7,65^\circ$ и $7,77^\circ$), но вариация для 40/17 больше на 8%. Доверительные интервалы по вероятности 0,95 для 40/17 ближе к пороговым значениям $3,5^\circ$ и $12,5^\circ$ в среднем на $0,5^\circ$.

Вероятность “посадки на три точки” для конфигурации 40/17 в среднем на порядок, а для больших G_p - на два порядка выше. Вероятность касания хвостовой опорой выше в среднем на порядок, а для больших весов - незначительно.

Выводы

1. Посадки в конфигурации 40/17 связаны с повышенным риском в основном в отношении «посадки на три точки» для больших посадочных весов. По мнению опытных пилотов, причиной может быть применение частью экипажей несовершенных методик выполнения посадки, а также недостаток опыта посадок в данной конфигурации.

2. Наблюдаемая в полетах V_p в конфигурации 40/17 в среднем на 9-14 км/ч меньше, чем для 30/17. Эти оценки хорошо совпадают с теоретическим расчетом и подтверждают, что применение конфигурации 40/17 расширяет эксплуатационные возможности самолета (уменьшение потребной длины ВПП на 150-250 м).

3. Таким образом, обоснована потребность и доказана возможность использования конфигурации 40/17 для самолета Ан-124-100, эксплуатируемого в гражданской авиации, без существенного снижения уровня безопасности полетов, при условии разработки дополнительных мероприятий по обучению и тренировке экипажей авиакомпании.

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках
Постановления Правительства РФ № 218*

Библиографический список

1. Руководство по летной эксплуатации самолета Ан-124, АНТК «Антонов», 1995г.
2. Руководство по летной эксплуатации самолета Ан-124-100, АНТК «Антонов», 2003г.
3. Толмачев В. И. и др. Аэродинамика самолета Ан-124 (1 редакция). – Предприятие п. я. А-3395, 1987.
4. Бехтир В. П. Практическая аэродинамика самолета Ан-124-100. Учебное пособие, РИО и ВОП УВАУ ГА, Ульяновск, 2005. – 207с.
5. Корелюк В. С., Портенко Н. И., Скороход А. В., Турбин А. Ф. Справочник по теории вероятностей и математической статистике/ и др. – М.: Наука, главная редакция физ.-мат. литературы, 1985. - 640с.
6. Боровиков В. А. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов. 2-е изд. (+CD). – СПб.: Питер, 2003. – 688с.: ил.

Сведения об авторе

Шаров Валерий Дмитриевич, заместитель директора Департамента предотвращения авиационных происшествий, к. т. н., Группа компаний «Волга-Днепр»,
Ул. Крылатская -117, к.4 ,Москва, 119435;
тел.: +7 (495) 755-68-50/1538, e-mail: v.sharov@volga-dnepr.com,