

УДК 629.73(09)

О. В. ДМИТРЕНКО

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

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ПАССАЖИРСКИХ САМОЛЕТОВ ДОВОЕННОГО ПЕРИОДА

Проведен сравнительный анализ пассажирского самолета ХАИ-1 с аналогами. Для этого были подобраны четыре самолета-аналога. Все рассмотренные самолеты были построены в начале 30-х годов XX века. Для сравнения выбран метод анализа иерархий. Согласно методу исследования, подобран ряд параметров, наиболее важных для пассажирских самолетов. Рассмотрена степень важности каждого из них для данного типа самолетов. Показано преимущество самолета ХАИ-1 перед этими выбранными пассажирскими самолетами довоенного времени. Указаны основные особенности этого самолета и инновации.

Ключевые слова: самолет ХАИ-1, метод анализа иерархий, максимальная скорость полета, крейсерская скорость полета, дальность полета, относительная полезная нагрузка, мощность двигателя.

Введение

Самолет ХАИ-1 принадлежит истории мировой авиации. Это доказано его превосходными характеристиками, приведенными в многочисленных публикациях в литературе [1–5].

Генеральный конструктор академик А. Н. Туполев в своих воспоминаниях о совместной работе с создателем пассажирского самолета ХАИ-1 Иосифом Григорьевичем Неманом писал: «...И. Г. Неман я впервые встретил еще в конце 1932 года, когда в Москву на государственные испытания прилетел из Харькова пассажирский скоростной самолет ХАИ-1. Это была очень интересная машина современной аэродинамической схемы с гладкой работающей обшивкой и монопланым свободносущим крылом. Впервые в Советском Союзе и Европе на этом самолете было осуществлено полностью убирающееся в полете шасси» [5].

Самолет ХАИ-1 занимает ведущее место среди пассажирских самолетов своего периода. Профессор И. Г. Неман включил в конструкцию самолета ряд важных инноваций, оказавших положительное влияние на скорость и эффективность этого самолета.

Все эти многочисленные данные не обобщены и нет сравнения параметров данного самолета с аналогами.

Целью данной работы является рассмотрение пассажирского самолета ХАИ-1 на фоне других пассажирских советских и зарубежных самолетов этого периода по основным параметрам для данного типа самолетов.

Постановка задачи исследования

Для сравнения пассажирского самолета ХАИ-1 подобраны несколько самолетов-аналогов (табл. 1).

Таблица 1

Самолеты для сравнения

Название самолета	Страна, год начала летных испытаний
ХАИ-1	СССР, 1932 г.
Lockheed 9 Orion	США, 1931 г.
Heinkel He 70	Германия, 1932 г.
К-5	СССР, 1929 г.
Сталь-2	СССР, 1931 г.

Самолет Lockheed 9 Orion является первым пассажирским самолетом с убирающимся шасси и самым скоростным пассажирским самолетом первой половины 30-х годов на американском континенте. Поднялся в воздух Lockheed 9 Orion в апреле 1931 года со скоростью 260 км/ч [6].

Немецкий пассажирский самолет Heinkel He-70 долгое время считали первым в Европе скоростным пассажирским самолетом. Однако первый полет Heinkel He 70 в Германии был 1 декабря 1932 года со скоростью 285 км/ч [6]. Пассажирский самолет ХАИ-1 к этому времени уже проходил летные испытания почти 2 месяца со скоростью 292 км/ч.

Советские пассажирские самолеты К-5 и Сталь-2 выпускались серийно, их пассажиропместимость составляла 4 человека и 1 член экипажа, по конструктивному исполнению – это самолеты-

монопланы, аэродинамическая схема – классическая. По этим признакам можно заключить, что эти самолеты подходят для сравнения с исследуемым самолетом ХАИ–1.

Сравним некоторые параметры рассмотренных самолетов. Все самолеты построены в 30-е годы XX века, а это довольно давно. Поэтому их параметры наиболее полно отражены только в литературных источниках. Все исследуемые самолеты являются пассажирскими. Определимся с основными параметрами для самолетов такого типа. Это крейсерская скорость – $V_{\text{крейс.}}$ (км/ч), максимальная скорость – V_{max} (км/ч), дальность полета – L (км), относительная полезная нагрузка – $m_{\text{п.н.}}/m_{\text{взл.}}$, мощность силовой установки – $N_{\text{взл.}}$ (л. с.).

В качестве метода исследования применим метод анализа иерархий (МАИ), разработанный американским математиком Т. Л. Саати [7]. Он относится к методам экспертных оценок. МАИ позволяет понятным и рациональным образом структурировать сложную проблему принятия решений в виде иерархии, сравнить и выполнить количественную оценку альтернативных вариантов решения. МАИ используется во всем мире для принятия решений в разнообразных ситуациях: от управления на межгосударственном уровне до решения отраслевых и частных проблем в бизнесе, промышленности, здравоохранении и образовании.

МАИ на сегодняшний день очень распространен и используется в различных областях: сравнение летательных аппаратов (ЛА), автомобилей, анализ рынка недвижимости, анализ экономики и многое другое.

Этим методом пользуются при сравнении других типов ЛА между собой, например, при сравнении беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). МАИ относится к многокритериальным методам принятия решений. Данный метод базируется на иерархической или сетевой структуре представления модели принятия решений и определения приоритетов альтернативных вариантов на основе суждений лица, принимающего решения (ЛПР). Его основным преимуществом является рациональное сочетание субъективных оценок специалистов и объективных (расчетных) параметров образцов оцениваемой техники. Сравнительная оценка образцов на основе МАИ базируется на четырехуровневой иерархической структуре. Ее можно пояснить с помощью структурной схемы в порядке следования снизу вверх [8, с. 96]:

1. Выбор объектов исследований, близких по назначению, классификации, решаемым задачам (пассажирские самолеты, описанные выше).

2. Определение набора параметров, характеризующих свойства объектов по назначению, по кото-

рым предполагается сравнение (выбраны пять параметров, описанные выше).

3. Выбор интегральных показателей качества (ИПК) сравниваемых образцов (в данном случае будем определять один ИПК).

4. Расчет обобщенного критерия – глобальной оценки для каждого из выбранных комплексов для заданных условий.

Результаты исследования

Для объективной оценки выбранных самолетов сначала необходимо оценить важность выбранных параметров. Американский математик Т. Л. Саати предложил 9-ти балльную шкалу сравнений альтернативных параметров.

Метод построен на попарном сравнении двух параметров. При этом ориентируемся на авторитетное мнение специалистов – экспертов в области авиации [9, 10]. Немаловажное значение имеет то, что все самолеты построены в 30-е годы прошлого века. Учитывая это, определим насколько один параметр весомее другого. Обозначим вектора приоритетов параметров: запишем по горизонтали и по вертикали параметры, таким образом, получим квадратную матрицу (табл. 2).

Для заполнения строк будем сравнивать параметры друг с другом. При сравнении самих с собой параметров по шкале сравнения альтернатив получим 1 (равная важность показателей). Далее, в первой строке сравниваем $V_{\text{крейс.}}$ с V_{max} . Пассажирский самолет выполняет свой полет в основном на крейсерском режиме, поэтому $V_{\text{крейс.}}$ важнее V_{max} , по шкале сравнения альтернатив выбираем 5, то есть сильное преимущество одного показателя над другим. Затем сравниваем $V_{\text{крейс.}}$ с L : в данном случае сравниваются самолеты 30-х годов, где скорость при проектировании самолета была на первом месте, поэтому выбираем 9 баллов по шкале сравнения альтернатив – абсолютное преимущество одного параметра над другим. Сравниваем $V_{\text{крейс.}}$ с $m_{\text{п.н.}}/m_{\text{взл.}}$: в данном случае $m_{\text{п.н.}}/m_{\text{взл.}}$ важнее для пассажирского самолета чем $V_{\text{крейс.}}$, но принимая во внимание, что и скорость играет важное значение, выбираем небольшое преимущество одного параметра над другим и выбираем обратный параметр – 1/3. Сравниваем $V_{\text{крейс.}}$ с $N_{\text{взл.}}$: здесь видим, что параметр $V_{\text{крейс.}}$ зависит от параметра $N_{\text{взл.}}$, но зная, что в начале 30-х годов возникла проблема с недостаточной мощностью двигателей и скорость увеличивали в основном благодаря аэродинамике, можем записать небольшое преимущество $V_{\text{крейс.}}$ над $N_{\text{взл.}}$ – цифра 3 по шкале сравнения альтернатив. Также заполняются и другие строки матрицы.

Таблица 2

Матрица приоритета параметров по ИПК

Характеристика	$V_{\text{крейс.}}$	V_{max}	L	$m_{\text{п.н./мвзл.}}$	$N_{\text{взл.}}$	Стб9	Стб10	Стб11
$V_{\text{крейс.}}$	1	5	9	0,333	3	2,14	0,303	1,41
V_{max}	0,2	1	2	0,2	3	0,75	0,107	1,26
L	0,11	0,5	1	0,2	0,5	0,35	0,050	0,95
$m_{\text{п.н./мвзл.}}$	3	5	5	1	5	3,27	0,464	0,9
$N_{\text{взл.}}$	0,33	0,33	2	0,2	1	0,53	0,076	0,95
Стр9	4,64	11,83	19	1,93	12,5	7,06	–	5,47

Заметим, что если уже сравнивалась одна пара параметров, обратная ей пара будет иметь обратное значение.

Столбец Стб9 рассчитываем как среднее геометрическое значение каждой строки, затем находим сумму этого столбца. Столбец Стб10 получаем при делении каждого элемента Стб9 на его сумму, то есть путем нормирования. Таким образом, получаем элементы вектора локальных приоритетов параметров. Другими словами, получаем весовые коэффициенты принятых параметров по отношению к 1 (табл. 3) [8, с. 104].

В соответствии с принятыми экспертами оценками предпочтение отдано параметру $m_{\text{п.н./мвзл.}}$ – 0,464, несколько меньшее значение имеет параметр $V_{\text{крейс.}}$ – 0,303, самое низкое значение у параметра $N_{\text{взл.}}$ – 0,0501. Получили значения приемлемые для пассажирских самолетов 30-х годов XX века. Действительно относительная полезная нагрузка есть на первом месте, в то время как вопрос о скорости для данных самолетов являлся очень важным.

Для проверки полученных результатов метод МАИ предусматривает определение индекса согласованности (ИС), который устанавливает степень нарушения численной и порядковой согласованности экспертных оценок [8, с. 105].

Индекс согласованности определяется по формуле:

$$ИС = \frac{\lambda - n}{n - 1}, \quad (1)$$

где n – число сравниваемых элементов, λ – число, превышающее n , в зависимости от грубости экспертных оценок, так что всегда $\lambda \geq n$. При абсолютной согласованности матрицы $\lambda = n$. Величину λ можно определить по табл. 2 следующим образом.

1. Суммируем элементы столбцов параметров и записываем в строку Стр9.

2. Перемножаем элементы строки Стр9 и столбца Стб10 и записываем результат в столбце Стб11.

3. Суммируем элементы столбца Стб11. Получаем $\lambda = 5,4706$.

4. Находим индекс согласованности $ИС = (5,4706 - 5) / (5 - 1) = 0,1177$.

Согласованность может оказаться случайной. Ее величина будет зависеть от размера матрицы. Средняя величина случайной согласованности (СС) в зависимости от размера матрицы уже рассчитана и является одинаковой для любого случая [8, с. 106].

СС позволяет получить еще одну оценочную величину – отношение согласованности (ОС), представляющую собой отношение $ИС/СС$ (при одинаковых размерах матрицы)

$$ОС = \frac{ИС}{СС}. \quad (2)$$

В нашем случае $ОС = 0,1177 / 1,12 = 0,105$, то есть отношение согласованности составляет 10,5%. На практике считают, что при хорошем согласовании ОС не должно превышать 10%, при удовлетворительном – 20%. При большем расхождении целесообразно провести повторную оценку или привлечь более квалифицированных экспертов [9, с. 106].

Приоритеты параметров определены. Теперь рассмотрим непосредственно числовые данные исследуемых самолетов (табл. 3).

Произведем расчет интегрального показателя качества (ИПК) самолетов по совокупности этих летных и массовых параметров. Для этого составим матрицу для каждого параметра в отдельности.

Первый столбец матрицы оценки крейсерской скорости (табл. 4) получим путем деления каждого элемента первого столбца табл. 3 на первый его элемент (258), второй столбец – делением элементов первого столбца на второй его элемент (293).

Таблица 3

Характеристики исследуемых самолетов

Характеристика Самолет	$V_{крейс.}$, км/ч	V_{max} , км/ч	L, км	$m_{п.н.}/m_{взл.}$	$N_{взл.}$, л.с.
ХАИ-1	258	324	1130	0,373	480
Lockheed 9 Orion	293	360	900	0,335	425
Heinkel He 70	305	360	890	0,269	550
К-5	154	185	820	0,385	480
Сталь-2	170	200	750	0,428	300

Таблица 4

Матрица оценки крейсерской скорости

$V_{крейс.}$, км/ч	ХАИ-1	Lockheed 9 Orion	Heinkel He 70	К-5	Сталь-2	Стб6	Стб7
ХАИ-1	1	0,881	0,846	1,675	1,518	1,136	0,219
Lockheed 9 Orion	1,136	1	0,961	1,903	1,724	1,290	0,248
Heinkel He 70	1,182	1,041	1	1,981	1,794	1,343	0,258
К-5	0,597	0,526	0,505	1	0,906	0,678	0,131
Сталь-2	0,659	0,580	0,557	1,104	1	0,749	0,144
–	–	–	–	–	–	5,197	–

Третий, четвертый и пятый элементы получаем делением элементов первого столбца соответственно на 305, 154 и 170. Получаем матрицу $V_{крейс.}$, которую затем нормируем: находим среднее геометрическое каждой строки (корень n -й степени из произведения элементов строки, где n – число элементов) и записываем в Стб6. Нормируем Стб6 (находим его сумму 5,197 и делим на нее каждый элемент Стб6), записывая результаты в Стб7. Таким образом, Стб7 представляет собой локальный вектор крейсерской скорости, который оценивает значение относительных крейсерских скоростей всех самолетов по сравнению с 1.

По такому же принципу определяются локальные векторы других параметров. Сведем все определенные с помощью матрицы локальные параметры в одну табл. 5, которую можно использовать для выявления роли каждого параметра.

Объединив табл. 3 и 5, определим глобальные приоритеты самолетов по интегральному показателю качества ИПК. Табл. 6 получена путем умножения элементов «Локальных приоритетов параметров» на элементы «Локальных приоритетов самолетов по их параметрам». Таким образом, получили обобщенный приоритет каждого самолета по каждому из выбранных параметров с учетом их значимости. Так, для самолета ХАИ-1 он будет равен 0,216, для самолета Lockheed 9 Orion – 0,213 и т. д. При этом сумма всех элементов должна равняться 1.

Обобщенный приоритет в этом контексте – это интегральный показатель качества ИПК, который оценивает численные значения параметров каждого

из рассматриваемых самолетов с учетом экспертной оценки их важности.

В данной задаче получили: наибольшее значение ИПК принадлежит ХАИ-1, несколько меньшее значение имеют Lockheed 9 Orion и Heinkel He 70, а наиболее низкие значения – К-5 и Сталь-2.

Выводы

1. В данном исследовании показано сравнение самолетов сразу по некоторым параметрам, причем выделены наиболее и наименее важные из них. Поэтому данный метод исследования является эффективным в решении такого рода задач.

2. Значения, которые показал самолет ХАИ-1, дает право назвать его лучшим пассажирским самолетом в своем времени.

2. Пассажирский самолет ХАИ-1 имел ряд конструктивных особенностей. Это улучшение аэродинамики (все выступающие части убраны из потока, стык крыла с фюзеляжем закрыт зализом, концы крыла закруглены), использование схемы убирающегося в полете шасси, гладкая работающая обшивка. При этом мощность двигателя не увеличивали. Благодаря этим инновациям самолет ХАИ-1 показал отличные характеристики.

В своей книге «Боевые взлеты» по истории авиации канд. техн. наук И. Костенко подчеркнул: «Первым нашим самолетом, на котором с успехом применялась система убирающегося шасси, был семиместный пассажирский самолет ХАИ-1, созданный коллективом конструкторов Харьковского

Таблица 5

Локальные приоритеты самолетов по их параметрам

Характеристика Самолет	$V_{\text{крейс.}}$, км/ч	V_{max} , км/ч	L, км	$m_{\text{п.н.}}/m_{\text{взл.}}$	$N_{\text{взл.}}$, л.с.
ХАИ-1	0,219	0,227	0,252	0,209	0,215
Lockheed 9 Orion	0,248	0,252	0,200	0,187	0,190
Heinkel He 70	0,259	0,252	0,198	0,150	0,246
К-5	0,131	0,130	0,183	0,215	0,215
Сталь-2	0,144	0,140	0,167	0,239	0,134

Таблица 6

Обобщенные приоритеты параметров самолетов

Характеристика Самолет	$V_{\text{крейс.}}$, км/ч	V_{max} , км/ч	L, км	$m_{\text{п.н.}}/m_{\text{взл.}}$	$N_{\text{взл.}}$, л.с.	–
ХАИ-1	0,066	0,024	0,013	0,097	0,016	0,216
Lockheed 9 Orion	0,075	0,027	0,010	0,087	0,014	0,213
Heinkel He 70	0,078	0,027	0,010	0,070	0,019	0,204
К-5	0,040	0,014	0,009	0,100	0,016	0,179
Сталь-2	0,044	0,015	0,008	0,111	0,010	0,188

авиационного института в 1932 г. ХАИ-1 был выполнен в основном из дерева, как и большинство самолетов тех времен. Этот самолет имел хорошо обтекаемый фюзеляж, закрытую кабину летчика и убирающееся в полете шасси. Все перечисленные особенности существенно уменьшали вредное сопротивление воздуха и давали возможность увеличивать скорость полета до 325 км/ч, в то время как тогда наибольшая скорость у пассажирских самолетов редко превосходила цифру 200.» [11].

3. Инновации, используемые на пассажирском самолете ХАИ-1, стали этапными в развитии авиации. Они используются на всех последующих и на современных самолетах, считаются обычными, без них самолет невозможно спроектировать и построить.

4. Двухместный разведчик ХАИ-6, ближний бомбардировщик, штурмовик, разведчик ХАИ-5 – все это самолеты, для которых прототипом стал самолет ХАИ-1. Данные самолеты были созданы коллективом студентов и преподавателей под руководством И. Г. Немана и стали основанием для зарождения научной школы.

Литература

1. Новые авиалинии [Текст] // Самолет. – 1935. – № 2. – С. 27.
2. Иванов, Ю. Скоростной самолет ХАИ-1 [Текст] / Ю. Иванов // Самолет. – 1935. – № 4. – С. 32-33.

3. Кононенко, В. Г. Самолеты и планеры ХАИ [Текст] / В. Г. Кононенко, В. С. Шнитман, Т. П. Цепляева // Самолетостроение. Техника воздушного флота : респ. межвед. науч.-техн. сб. / М-во высш. и сред. спец. образования УССР, Харьк. авиац. ин-т. – Х., 1980. – Вып. 47. – С. 3–9.

4. Кононенко, В. Г. Концепция максимального аэродинамического совершенства в конструкции самолетов ХАИ [Текст] / В. Г. Кононенко, В. С. Шнитман, Т. П. Цепляева // Самолетостроение. Техника воздушного флота : респ. межвед. науч.-техн. сб. / М-во высш. и сред. спец. образования УССР, Харьк. авиац. ин-т. – Х., 1981. – Вып. 48. – С. 107–112.

5. Цепляева, Т. П. ХАИ: с первых шагов – мировые рекорды [Текст] / Т. П. Цепляева // Авіаційно-космічна техніка і технологія : зб. наук. пр. / М-во освіти і науки, Держ. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «ХАІ». – Х., 2000. – Вып. 15. – С. 59–60.

6. Соболев, Д. А. История самолетов мира [Текст] / Д. А. Соболев. – М. : Русавиа, 2001. – 680 с.

7. Метод анализа иерархий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Метод_анализа_иерархий. – 10.11.2014.

8. Беспилотные авиационные комплексы: Методика сравнительной оценки боевых возможностей [Текст] / М. М. Митрахович и др. ; под общ. ред. С. М. Силкова. – К. : ЦНИИ ВВТ ВС Украины, 2012. – 284 с.

9. Проектирование самолетов [Текст]: учеб. для вузов / С. М. Егер и др. ; под ред. С. М. Егера. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1983. – 616 с.
10. Фомин, Н. А. Проектирование самолетов : определение веса, компоновка, выбор схемы и основных параметров [Текст] : учеб. пособие для авиац. вузов / Н. А. Фомин. – М. : Оборонгиз, 1961. – 362 с.
11. Костенко, И. Боевые взлеты [Текст] / И. Костенко. – М. : Молодая гвардия, 1976. – 255 с.

Поступила в редакцию 18.12.2014, рассмотрена на редколлегии 20.01.2015

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ПАСАЖИРСЬКИХ ЛІТАКІВ ДОВОЄННОГО ПЕРІОДУ

О. В. Дмитренко

Проведено порівняльний аналіз пасажирського літака ХАІ-1 з аналогами. Для цього були підібрані чотири літаки-аналоги. Усі розглянуті літаки були побудовані на початку 30-х років ХХ століття. Для порівняння обрано метод аналізу ієрархій. Згідно з методом дослідження, підібрано ряд параметрів, найбільш важливих для пасажирських літаків. Розглянуто ступінь важливості кожного з них для даного типу літаків. Показано перевагу літака ХАІ-1 перед цими вибраними пасажирськими літаками довоєнного часу. Зазначено основні особливості цього літака та інновації.

Ключові слова: літак ХАІ-1, метод аналізу ієрархій, максимальна швидкість польоту, крейсерська швидкість польоту, дальність польоту, відносне корисне навантаження, потужність двигуна.

COMPARATIVE ANALYSIS OF PASSENGER AIRCRAFT PREWAR PERIOD

O. V. Dmitrenko

A comparative analysis of passenger aircraft KhAI-1 analogues. To this end, four aircraft were selected analog. All considered planes were built in the early 30-ies of XX century. For comparison, the method of analytic hierarchy process. According to the method of research, selected a number of parameters, the most important passenger aircraft. We consider the degree of importance of each of them for the type of aircraft. The advantage of the aircraft KhAI-1 in front of these selected passenger aircraft before the war. Shows the main features of this aircraft and innovation.

Keywords: airplane KhAI-1, analytic hierarchy process, a maximum speed, cruising speed, range, relative payload, engine power.

Дмитренко Оксана Викторовна – ассистент каф. проектирования самолетов и вертолетов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: C-A-N-A@mail.ru.