

*Н. И. МОРЕНКОВ, К. А. САМОЙЛОВ,
А. Х. БИКТАШЕВ*

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ САМОЛЕТОВ

Наряду с увеличением объема производства первоочередной задачей является повышение качества и эксплуатационной надежности выпускаемых изделий.

Повышение надежности должно дать не только технический, но и экономический эффект. Это в равной мере относится ко всем изделиям, в том числе и к самолетам.

Экономические расчеты при оценке уровня надежности самолетов охватывают следующие группы вопросов: определение народнохозяйственной эффективности повышения надежности самолетов; определение уровня надежности самолета, при котором затраты на один час эксплуатации его будут минимальными; расчет частных экономических характеристик надежности самолетов.

Только глубокое знание этих вопросов и творческое их применение наряду с повышением надежности самолетов может обеспечить наибольший экономический эффект.

1. Определение народнохозяйственной эффективности повышения надежности самолетов

Народнохозяйственная эффективность повышения надежности пассажирских и грузовых самолетов связана с ростом производительности самолетного парка. Повышение надежности пассажирских и грузовых самолетов приносит дополнительный экономический эффект и уменьшает затраты на устранение неисправностей в течение срока эксплуатации. Экономический эффект возникает в результате снижения себестоимости перевозок и увеличения годовой производительности самолетного парка из-за уменьшения простоев самолетов. В этом случае величина годового экономического эффекта от повышения надежности гражданских самолетов исчисляется по формуле:

$$\mathcal{E}_r = Q + \Delta C, \quad (1)$$

где Q — годовая дополнительная прибыль от увеличения объема перевозок в связи с повышением надежности самолетов;
 ΔC — дополнительная годовая экономия за счет снижения себестоимости перевозок.

Годовая дополнительная прибыль Q за счет дополнительных полетов самолетов определяется как разница между дополнительной годовой выручкой в связи с уменьшением простоев самолетного парка от повышения надежности и издержками по выполнению дополнительных перевозок.

$$Q = \Delta t \cdot П_{\text{ч}} (B_{\text{т}} - C_{\text{тк}}), \quad (2)$$

где Δt — дополнительное время полетов парка самолетов повышенной надежности в течение года, час;

$П_{\text{ч}}$ — средняя часовая производительность одного самолета, ткм/час;

$B_{\text{т}}$ — средний тариф на данный вид транспортных работ, руб/ткм;

$C_{\text{тк}}$ — себестоимость 1 ткм, руб/ткм.

При повышении надежности годовая экономия за счет снижения себестоимости перевозок происходит, главным образом, из-за снижения издержек на устранение неисправностей, поэтому можно считать, что

$$\Delta C \approx \mathcal{E}_{\text{дн}},$$

где $\mathcal{E}_{\text{дн}}$ — годовая экономия средств на устранение неисправностей в связи с повышением надежности самолетов, определяемая по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{дн}} = b_{\text{ср}} \cdot T_{\text{г}} \left(\frac{t' - t}{t \cdot t'} \right) N_{\text{п}}. \quad (3)$$

Здесь $b_{\text{ср}}$ — средние затраты на устранение одного отказа самолета;

$T_{\text{г}}$ — средняя годовая наработка одного самолета после повышения надежности, час;

t — среднее время между отказами до повышения надежности, час;

t' — среднее время между отказами после повышения надежности, час;

$N_{\text{п}}$ — количество эксплуатируемых самолетов с повышенной надежностью.

Мы рассмотрели годовой экономический эффект от повышения надежности самолетов. Однако повышение надежности достигается путем дополнительных затрат труда и средств. Эти дополнительные затраты на повышение надежности можно рассчитать по формуле:

$$B_{\text{пн}} = \sum_1^n B_{\text{мо}'} + \sum_1^m B_{\text{мз}}, \quad (4)$$

где $B_{\text{мо}}$ — затраты на одно техническое мероприятие ОКБ по повышению надежности;

n — количество мероприятий ОКБ по повышению надежности;

$B_{мз}$ — затраты на одно техническое мероприятие на серийном заводе по повышению надежности;

m — количество технических мероприятий на серийном заводе по повышению надежности.

Экономическая эффективность мероприятий по повышению надежности пассажирских и грузовых самолетов может быть оценена по сроку окупаемости дополнительных затрат по повышению надежности. Срок окупаемости представляет собой период календарного времени (в данном случае в годах), в течение которого сумма вложений на повышение надежности $B_{пн}$ будет покрыта величиной годового экономического эффекта \mathcal{E}_r и определяется как их отношение, т. е.

$$T_{ок} = \frac{B_{пн}}{\mathcal{E}_r}$$

Естественно, что более эффективному мероприятию соответствует меньший срок окупаемости $T_{ок}$.

С точки зрения народного хозяйства целесообразно, чтобы дополнительные затраты, связанные с повышением надежности самолетов, окупались при эксплуатации в пределах действующих нормативных сроков окупаемости дополнительных капитальных вложений.

Как результат реализации мероприятий по повышению надежности народное хозяйство начинает получать дополнительные накопления от повышения надежности. Величина этих накоплений рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_{нх} = \mathcal{E}_r T_{э} - B_{пн} \quad (5)$$

Здесь $T_{э}$ — количество лет эксплуатации самолетов повышенной надежности.

Повышение уровня надежности самолетов сопровождается сокращением количества самолетов, потребного для выполнения операции с заданной вероятностью и уменьшением затрат на их эксплуатацию.

Однако расчет экономии народнохозяйственных средств при повышении уровня надежности самолетов должен производиться при неизменности остальных параметров, то есть исходя из условий сохранения заданной вероятности выполнения операции, и, следовательно, уменьшения потребного количества самолетов. Тогда экономия народнохозяйственных средств определится по формуле:

$$\mathcal{E}_{нх} = N_c B_{оц} - N'_c B_{оц} + (N_c - N'_c) B_c^э, \quad (6)$$

N_c — количество самолетов, необходимых для выполнения операции с заданной вероятностью, до повышения надежности;

N'_c — количество самолетов повышенной надежности, необходимых для выполнения операции с заданной вероятностью;

$B_{\text{оц}}$ — отпускная цена самолета до повышения надежности;

$B_{\text{оц}}$ — отпускная цена самолета повышенной надежности;

$B_{\text{с}}^{\text{э}}$ — эксплуатационные затраты на один самолет.

Степень экономической эффективности мероприятий по повышению надежности определяется величиной отношения экономии народнохозяйственных средств ($\mathcal{E}_{\text{нх}}$) к сумме дополнительных затрат на повышение надежности ($B_{\text{пн}}$), которая должна быть больше единицы

$$K_{\text{эф}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{нх}}}{B_{\text{пн}}} > 1.$$

Более эффективному мероприятию из сравнимых соответствует большее значение $K_{\text{эф}}$.

Вложение дополнительных средств на повышение надежности самолетов экономически целесообразно до тех пор, пока величина этих вложений не будет равна сумме средств, сэкономленных на сокращении самолетного парка.

Величина народнохозяйственной экономии от повышения надежности самолетов подсчитывается в каждом отдельном случае с учетом характера выполняемой операции и типа используемых для этой цели самолетов.

Определение уровня надежности самолета, при котором затраты на один час эксплуатации будут минимальными

Очевидно, что с экономической точки зрения оптимальным является такой уровень надежности самолета, при котором затраты на один час его эксплуатации будут минимальными. Средние затраты на один час эксплуатации, при заданном полном техническом ресурсе, можно записать следующим образом:

$$\bar{B}_{\text{с}} = \frac{1}{T_{\text{с}}} \left[\frac{B_{\text{пр}}}{N} + B_{\text{оц}} + b_{\text{то}} \left(\frac{T_{\text{с}}}{t_{\text{то}}} - 1 \right) + g_{\text{т}} b_{\text{т}} \cdot T_{\text{с}} + b_{\text{кр}} \left(\frac{T_{\text{с}}}{t_{\text{р}}} - 1 \right) + \sum_{i=1}^m b_{\text{иyo}} \cdot n_i \right], \quad (7)$$

где $T_{\text{с}}$ — технический ресурс самолета;

$B_{\text{пр}}$ — затраты на проектирование и доводку самолета;

N — общее количество изготовленных самолетов;

$B_{\text{оц}}$ — отпускная цена самолета;

$b_{\text{то}}$ — средние затраты на одно техническое обслуживание самолета;

$t_{\text{то}}$ — среднее время между техническими обслуживаниями;

$g_{\text{т}}$ — среднечасовой расход топлива;

$b_{\text{т}}$ — цена 1 кг топлива;

$b_{\text{кр}}$ — средние затраты на один капитальный ремонт;

$t_{\text{р}}$ — средний межремонтный ресурс самолета;

$b_{\text{иyo}}$ — средние затраты на устранение одного отказа i -ой системы самолета;

n_i — среднее количество отказов i -ой системы самолета;

m — количество систем, имеющих неисправности.

Рассмотрим зависимость членов правой части уравнения от надежности.

Первый член $\left(\frac{B_{\text{нр}}}{N}\right)$ зависит от надежности, так как надежность закладывается при проектировании и доводке. Естественно, что для создания более надежного самолета потребуются дополнительные затраты труда и средств, так как новые конструктивные решения в большинстве случаев требуют проведения определенных целевых исследований (испытаний).

Второй член — $B_{\text{ощ}}$ с увеличением надежности возрастает, так как изготовление самолета с повышенной надежностью вызывает необходимость осуществления дополнительных затрат в серийном производстве на приобретение более дорогостоящих материалов, усовершенствование технологических процессов, на проведение специальных испытаний и т. п. Эти дополнительные затраты производства увеличивают себестоимость самолета, и следовательно, увеличат и его отпускную цену.

Третий член — $b_{\text{то}} \left(\frac{T_c}{t_{\text{то}}} - 1\right)$, выражающий собой затраты на технические обслуживания самолета, также зависит от надежности. Для самолета повышенной надежности сумма затрат на техническое обслуживание будет меньше, так как для него время между очередными работами по техническому обслуживанию (периодичность регламентных работ) $t_{\text{то}}$ может быть увеличено.

Четвертый член $q_{\text{т}} b_{\text{т}} T_c$ представляет собой затраты на горючее за весь период эксплуатации самолета и практически зависит не от надежности, а от типа примененного двигателя.

Пятый член — $b_{\text{кр}} \left(\frac{T_c}{t_{\text{р}}} - 1\right)$ выражает затраты на капитальные ремонты самолета за период его эксплуатации. Величина этих затрат зависит от надежности самолета. С увеличением межремонтного ресурса ($t_{\text{р}}$) она уменьшается. Более надежный самолет к моменту выполнения капитального ремонта может иметь меньшее количество дефектов, но $b_{\text{кр}}$ с повышением надежности может возрасти. При выполнении расчетов все это должно учитываться.

Шестой член — $\sum_{i=1}^m b_{iyo} \cdot n_i$ выражает сумму средств на устранение отказов и неисправностей, возникающих за период эксплуатации самолета.

Естественно, что эта величина зависит от надежности систем самолета. Чем ниже уровень надежности, тем количество неисправностей будет больше и, наоборот, с увеличением надежности n_i будет уменьшаться. И вполне понятно, что $\frac{1}{T_c}$ с увеличением ресурса — значительно уменьшается.

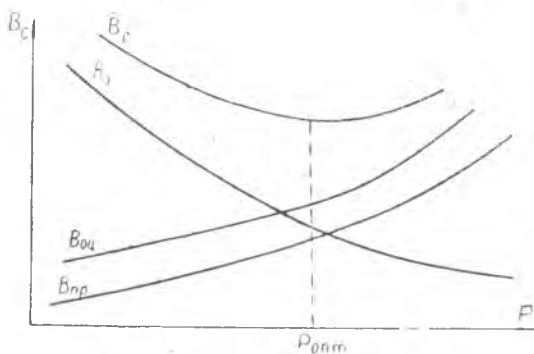
Из рассмотрения зависимости отдельных членов правой части уравнения от надежности следуют выводы:

— повышение надежности самолета дополнительно увеличивает затраты на проектирование, доводку и изготовление;

— повышение надежности самолета уменьшает затраты по его эксплуатации.

С приближением вероятности безотказной работы самолета к единице ($P=1$) затраты по созданию, доводке и изготовлению самолета стремятся к максимальной величине.

Затраты на эксплуатацию при этом стремятся к минимуму, а в пределе равны сумме расходов на горючесмазочные материалы и на техническое обслуживание.



Фиг. 1. Зависимость затрат на один час эксплуатации самолета от вероятности безотказной работы.

Зависимость затрат на один час эксплуатации самолета в зависимости от уровня надежности (вероятности безотказной работы) выражается кривыми, изображенными на фиг. 1.

Для отыскания оптимального значения вероятности безотказной работы самолета, при котором затраты на один час работы самолета будут минимальными, необходимо чтобы уравнение (7) было продифференцировано по приращению вероятности безотказной работы и было найдено значение P (вероятность безотказной работы) при котором: $\frac{dV_c}{dP} = 0$.

Это уравнение выражает условие оптимальности уровня надежности самолета по величине затрат на один час эксплуатации.

3. Расчет частной экономической характеристики надежности самолета

В зависимости от типа самолета, характера и условий его применения и др. могут интересовать различные частные экономические характеристики надежности. Для периода нормальной эксплуатации самолета в качестве такой характеристики может быть

принят коэффициент стоимости обслуживания, который определяется по формуле:

$$K_{\text{обсл.}} = \frac{\sum_1^m b_{\text{то}} + \sum_1^n b_{i\text{yo}} \left(\frac{t_p}{t_{\text{сп}}} - 1 \right) \frac{T_c}{T_{\text{сп}}}}{B_{\text{оц}}} \quad (8)$$

где $b_{\text{то}}$ — затраты на одно техническое обслуживание;
 $b_{i\text{yo}}$ — затраты на устранение одного отказа i -го (данного) вида;
 t_p — межремонтный ресурс;
 $t_{\text{сп}}$ — среднее время безотказной (исправной) работы в течение межремонтного ресурса;
 m — количество технических обслуживаний;
 n — количество видов отказов.

Очень важной частной экономической характеристикой является коэффициент стоимости ремонта, определяемый как отношение стоимости ремонта к отпускной цене самолета. Этот коэффициент характеризует не только надежность, но и ремонтную технологичность конструкции.

В результате тщательного анализа всех факторов, влияющих на эти экономические характеристики, — разработчики и поставщики могут разработать и осуществить мероприятия, существенно повышающие надежность и экономичность самолетов.

Расчеты по экономической оценке надежности самолетов являются весьма сложными, им предшествует сбор и обработка экономической статистики по затратам на проектирование, доводку, изготовление и эксплуатацию самолетов. Выполнение этих расчетов требует проведения ряда технико-экономических исследований по выявлению функциональных зависимостей величин затрат от уровня надежности, разработке методов укрупненных расчетов затрат на стадии проектирования самолетов, разработке и накоплению необходимых справочно-нормативных данных по затратам.

Выше были кратко рассмотрены основные положения экономической оценки надежности самолетов в целом. Однако на практике на существующем парке самолетов на определенном этапе эксплуатации проводятся работы по повышению надежности отдельных систем и агрегатов самолета.

Так, например, течь амортизационных стоек при перепадах температуры или частые отказы механических клапанов заправки существенно влияют на готовность самолетов, увеличивают расходы по обслуживанию и устранению отказов.

Принятие мер по устранению недостатков повысит надежность этих систем, а так же и экономичность самолетов, на которых приняты эти меры.

В этом случае расчеты по экономической оценке надежности существенно упрощаются и могут выполняться работниками, непосредственно занимающимися повышением надежности отдельных систем и агрегатов.