

## **Сравнение смены парка воздушных судов со сменой промышленного оборудования, не требующего высокой степени надежности**

*Представлен анализ и определены значения затрат на единицу авиаперевозок выполняемых воздушным судном новой разработки, при которых была экономически обоснована:*

- 1. смена стареющего парка самолетов на воздушное судно новой разработки до окончания срока назначенного ресурса стареющего воздушного судна*
- 2. плановая смена парка воздушных судов;*
- 3. продление ресурса стареющему парку воздушных судов сверх назначенного ресурса на определенный ограниченный срок, при условии сохранения приемлемого уровня безопасности.*

*Проведено сравнение смены парка воздушных судов и смены технологического оборудования общего машиностроения, которое не требует высокого уровня надежности.*

*Ключевые слова: смена парка, воздушное судно, снижение затрат, авиаперевозки, смена оборудования, минимум затрат, отказ, надежность, безопасность, назначенный ресурс, срок службы.*

Основным условием смены стареющей техники на технику новейшей разработки всегда было и останется снижение затрат на производство единицы продукции при её использовании.

$$C_{ст} > C_{нов}$$

Где  $C_{ст}$ ;  $C_{нов}$  – затраты, издержки или себестоимость производства единицы продукции на стареющей технике и вновь разработанной технике.

Найдем влияние снижения затрат на авиаперевозки воздушным судном новой разработки на порядок смены стареющего парка пассажирских самолетов и сравним с порядком смены промышленного оборудования в общем машиностроении.

Для всех видов транспорта единицей выпускаемой продукции является единица перемещения полезной нагрузки. Для авиационного транспорта единицей перемещения является единица авиаперевозок, измеряемая в тонно-километрах, пассажиро-километрах или в полетах. Перед проектированием воздушного судна гражданского назначения (пассажирского или транспортного) конструктор, прежде всего, должен знать технико–экономические характеристики этого нового самолета, которые должны превосходить параметры его предшественника – стареющего самолета.

Определим величину затрат на единицу авиаперевозок для вновь разрабатываемого воздушного судна, которая позволит произвести смену парка стареющего типа самолета немедленно в момент его появления.

Если исходить из вышеприведенного условия  $C_{ст} > C_{нов}$ , то даже самое незначительное снижение затрат на единицу авиаперевозок у самолета новой

разработки требует смены всего парка стареющих самолетов. Но такое требование правомерно только для техники, не требующей высокой степени надежности и безопасности. Действительно если анализировать имеющиеся типовые графики определения оптимального срока службы какой либо техники, например, станка, промышленного оборудования, автомобиля и т.д., то можно увидеть что оптимальный срок службы определяется минимумом затрат на единицу выпускаемой продукции. Этот график  $C = \frac{Ц}{X} + \frac{1}{n} \times (X - M)^2 + B$  показан на рисунке 1.

Где  $A=Ц/X$  - график изменения затрат в единице продукции на создание самого средства производства,  $Ц$  – затраты на создание средства производства,  $X=q \cdot T$  - объем производства,  $T$  – срок службы средства производства,  $q$  - среднегодовой объем выпуска продукции.  $Z = \frac{1}{n} \times (X - M)^2 + B$  - величина изменения средних переменных затрат в единице продукции, где  $B, M, 1/n$  – коэффициенты изменения переменных затрат, характеризующие снижение затрат при выпуске продукции на новой технике.

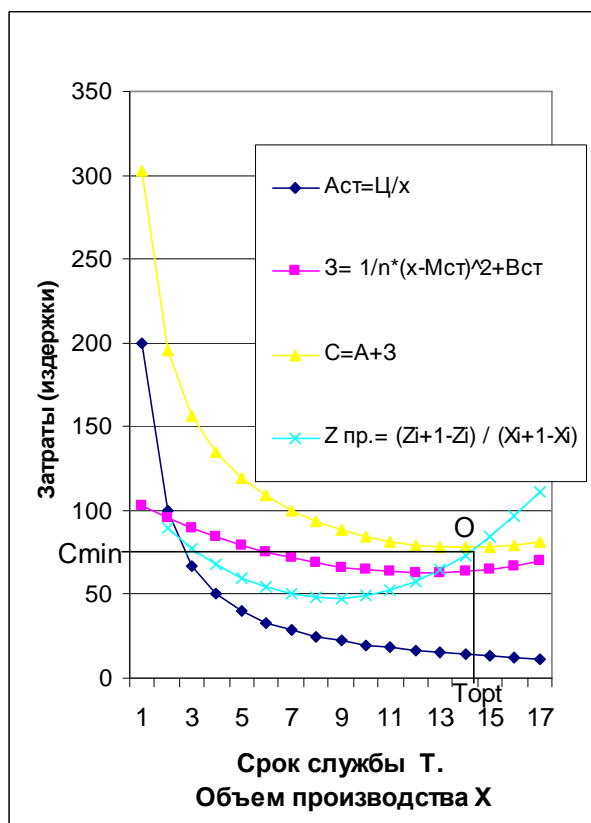


Рисунок 1 Определение оптимального срока службы для любой техники, являющейся средством производства

График изменения средних полных затрат на единицу продукции  $C = \frac{Ц}{X} + \frac{1}{n} \times (X - M)^2 + B$  является суммой средних затрат на создание самого средства производства  $A$  и средних переменных затрат на единицу выпускаемой продукции  $Z$  или  $C=A+Z$ .

На рисунке 1 четко проявляется минимум полных затрат единицы продукции  $C=A+Z$ , обозначенный точкой  $O$ , который образуется как результат суммирования

двух взаимоисключающих тенденций, - снижающихся затрат на восстановление самого средства производства А, и нарастающих переменных затрат З.

В случаях когда график затрат на единицу продукции слишком пологий и минимум затрат не явно выражен, величину минимума затрат  $C_{\min}$  можно определить с помощью графика изменения предельных затрат, который рассчитывается по формуле

$$Z_{\text{пр}} = (Z_{i+1} - Z_i) / (X_{i+1} - X_i) = \frac{Z_{i+1} - Z_i}{X_{i+1} - X_i}$$

Предельными затратами называются затраты на каждую последующую дополнительную единицу произведенной продукции. Где  $Z_{i+1}$  - полные затраты при производстве  $X_{i+1}$  - единиц продукции в  $i+1$  году,  $Z_i$  - полные затраты на производство  $X_i$  единиц продукции в  $i$  году. Пересечение кривой предельных затрат  $Z_{\text{пр}}$  и кривой полных средних затрат  $C$  определяет точку О- точку минимальных полных затрат единицы продукции. В этой точке величина полных средних затрат становится равной предельным затратам  $C = Z_{\text{пр}}$ . После точки О начинается рост полных средних затрат на единицу выпускаемой продукции. Продолжение эксплуатации этого средства производства становится нецелесообразно. Точка минимума затрат  $C_{\min}$  определяет оптимальный срок службы средства производства  $T_{\text{opt}}$ . Таким образом, оптимальный срок службы обозначается отрезком  $0 T_{\text{opt}}$ .

Определение оптимального срока службы в этом случае не учитывает уровня надежности техники. По умолчанию предполагается, что какая бы не была надежность техники, она удовлетворяет требованиям её эксплуатации.

В момент времени, когда на стареющей технике затраты на производство продукции достигают своего минимума, на смену ей должна прийти аналогичная техника новой разработки, при эксплуатации, которой затраты на единицу продукции меньше чем на стареющей технике.

$$C_{\min \text{ н}} < C_{\min \text{ ст}}$$

Это условие смены стареющей техники на новую технику чаще всего встречается в экономической литературе. Если ко времени достижения минимума затрат  $C_{\min \text{ ст}}$  на стареющей технике новая техника не разработана, то стареющая техника меняется, хоть и на новую но точно такую же технику прежней разработки. В этом случае на стареющей и новой технике минимумы затрат одинаковы и при продолжении производства увеличения затрат не происходит т.е.

$$C_{\min \text{ н}} = C_{\min \text{ ст}}$$

Продление ресурса стареющей технике в этом случае экономически не целесообразно, так как мероприятия по продлению ресурса не снижают затраты на единицу производства продукции, а только увеличивают их.

Если более совершенная техника выпускающая продукцию с меньшими затратами появляется раньше, чем на стареющей технике заканчивается срок службы, то недоамортизированная первоначальная стоимость стареющей техники будет сдерживать ввод в эксплуатацию новой техники. Для немедленного ввода новейшей техники в эксплуатацию она должна обладать настолько уменьшенными затратами на единицу выпускаемой продукции, чтобы они могли компенсировать недоамортизированные затраты стареющей техники.

$$C_{\min \text{ н}} + a_{\text{ст}} < C_{\min \text{ ст}}$$

Только в этом случае имеет смысл немедленной смены стареющей техники на технику новой разработки. Величина недоамортизированных затрат стареющей техники в затратах на единицу продукции выпускаемой на технике новой разработки обозначена -  $a_{ст}$ . Суммарная величина недоамортизированных затрат со старой техники рассчитывается по формуле

$$\Delta A_{ст} = a_{ст} \cdot t \cdot (X_{opt ст} - X_{факт ст})$$

Где  $a_{ст} \cdot t$ , величина суммы амортизации на единицу продукции выпускаемой на стареющей технике

$X_{opt ст}$  - полный оптимальный объем выпуска продукции на старой техники.

$X_{факт ст}$  – фактический объем продукции на старой техники.

Для компенсации убытков из-за досрочного вывода из эксплуатации стареющих средств производства необходимо перенести недоамортизированные затраты старой техники -  $\Delta A_{ст}$  на новую технику. Тогда стоимость новой техники увеличится и будет равна  $C_{н \Delta A_{ст}} = C_n + \Delta A_{ст}$

Минимальные затраты на единицу продукции  $C_{min}$  и  $\Delta a_{ст}$ , выпускаемой на новой технике, оптимальный объем продукции с учетом переноса недоамортизированных затрат  $X_{opt}$  и  $\Delta A_{ст}$  будут определяться из формулы

$$C_{min} \text{ и } \Delta a_{ст} = \frac{C_n \Delta a_{ст}}{X_{opt} \text{ и } \Delta A_{ст}} + \frac{1}{n} \times (X - M)^2 + B = \frac{C_n + \Delta a_{ст}}{X_{opt} \text{ и } \Delta A_{ст}} + \frac{1}{n} \times (X - M)^2 + B$$

Особенностью изменения величин затрат на производство единицы продукции является то, что они зависят от изменения технического состояния самого средства производства, которое характеризуется изменением величины интенсивности отказов и износа. Если сравнивать график предельных затрат и график интенсивности отказов, показанные на рисунке 2, то можно заметить, что оба графика имеют форму параболы и, что в основе изменения величины предельных затрат  $Z_{пр}$  лежит зависимость изменения интенсивности отказов  $\lambda(t)$ .

Интенсивность отказов исчисляется по формуле

$$\lambda(t) = \frac{r(t + \Delta t) - r(t)}{N(t) \Delta t}$$

где:  $r(t + \Delta t)$  - число отказов до момента времени  $(t + \Delta t)$ ,

$r(t)$  – число отказов до момента времени  $t$ ,

$N(t)$  – число объектов работоспособных к моменту времени  $t$ ,

$\Delta t$  – длительность интервала.

Логика расчета интенсивности отказов и предельных затрат почти полностью совпадает. Единственное отличие состоит в том, что интенсивность отказов рассчитывается по группе или парку объектов, а предельные затраты рассчитываются на один объект. Моменты времени для расчета величин числа отказов  $r(t + \Delta t)$ ,  $r(t)$  и полных затрат  $Z_{i+1}$ ,  $Z_i$  совпадают. Так как объем выпускаемой продукции  $X_{i+1}$  или  $X_i$  зависит от времени  $t$  и производительности машины  $q$ , и рассчитывается как  $X_{i+1} = q \cdot (t + \Delta t)$ ;  $X_i = q \cdot t$ . Величина  $\Delta t$  может быть равна одному году работы, какой либо, техники, т.е.  $\Delta t = 1$ .

Расчеты интенсивности отказов и предельных затрат, показывают что график предельных затрат по сути является графиком величины затрат на устранение этих повреждений и учета износа. Поэтому график предельных затрат повторяет конфигурацию графика интенсивности повреждений. Их снижение или рост происходит в одно и то же время. Чем меньше отказов, тем меньшие затраты

требуются для их устранения, и чем больше отказов, тем большая величина затрат необходима для их устранения. В свою очередь величина предельных затрат влияет на конфигурацию кривой средних переменных затрат и полных средних затрат. Рост предельных затрат  $-Z_{пр}$  зависит не только от количества отказов, но и от их сложности и трудоемкости ремонтов. По мере увеличения наработки все больше дает о себе знать явление усталостных повреждений конструкции, из-за чего растет количество отказов, увеличивается степень их опасности, возрастает вероятность отказа конструкции. Из-за этого растет величина затрат на устранение каждого повреждения, что приводит к ускорению роста предельных затрат на выпуск каждой последующей единицы продукции. Эти затраты соответственно увеличивают средние полные затраты выпускаемой единицы продукции.

Мы рассмотрели отдельный, определенный класс техники для которой не требуется высокий уровень безопасности и оптимальный срок службы определяется по минимуму затрат на единицу продукции. Отказ такой техники не приводит к катастрофическим результатам. Например, отказ механизма подачи суппорта в металлорежущем станке, конечно же, увеличивает затраты на производство единицы выпускаемой детали за счет ремонта станка и стоимости испорченной заготовки детали, но он не приводит к взрыву, разбитым стеклам, рухнувшим стенам, снесенным крышам, уничтожению станка и гибели людей. Технический ресурс техники такого класса совпадает с её экономически оптимальным сроком службы  $T_{opt}$ , который ограничивается временем достижения минимума затрат  $C_{min}$  на единицу выпускаемой продукции. На рисунках 2,3  $C_{min}$  обозначен точкой  $O$ . Отрезок  $0 T_{opt}$  является одновременно и экономически оптимальным сроком службы  $T_{opt}$  и техническим ресурсом  $T_r$  (сроком службы), где  $T_{opt}=T_r$ . Уровень безопасности эксплуатации такой техники за время отработки ресурса  $T_{opt}=T_r$  вполне достаточен. В таком классе техники, конечно же возможно продление технического ресурса, и тогда технический ресурс будет больше чем экономически оптимальный срок службы  $T_r > T_{opt}$ . Но экономически эффективным такое продление ресурса не будет, так как средние полные затраты на единицу продукции  $C$  после продления будут всегда выше своего минимального значения  $C_{min} < C$  и при продолжении эксплуатации их рост будет увеличиваться.

Но имеется и другой класс техники, в котором безопасность приобретает первостепенное значение. От того, насколько безопасна техника, начинает зависеть жизнь людей. Например, такой же отказ, такого же механизма, как и для подачи суппорта в станках, но который предназначен для изменения угла стабилизатора высоты в конструкции пассажирского самолета, может привести к гибели пассажиров, потере самолета, и трагедии на земле, когда могут пострадать совершенно случайные люди. При той же самой вероятности отказа затраты измеряются не увеличивающейся стоимостью технологического процесса, а многократно возрастающей стоимостью, выходящей за рамки стоимости технологического процесса, где произошел отказ. В авиационной технике, если ее надежность не достигает необходимого уровня, рост затрат следует ожидать уже не на величину ремонтов, а на величину потерь техники и затрат на ликвидацию техногенных катастроф, кроме того следует ожидать потерь человеческих жизней, что совершенно неприемлемо. Плата за недостаточную надежность становится

чрезмерной. Чтобы избежать нежелательных последствий из-за подобного рода отказов, необходимо обеспечить достаточно высокую надежность для конструкций такого класса.

В авиастроении разработана и существует система обеспечения безопасности пассажирских самолетов, которая действует на основе различных сложных и дорогостоящих мероприятий на всех этапах жизненного цикла воздушного судна [6]. От ранних стадий его проектирования и проведения всех видов испытаний, до производства и эксплуатации.

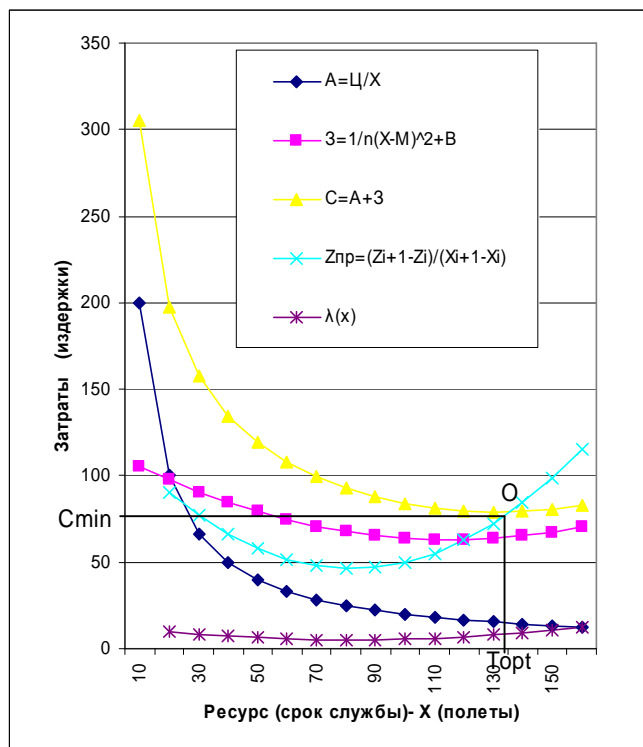


Рисунок 2 - Влияние интенсивности отказов  $\lambda(x)$  на величины затрат  $Z_{пр}$ ,  $3$ ,  $C$ .

При соблюдении всех норм, процедур и правил существующей системы обеспечения безопасности в авиастроении в пределах устанавливаемых ресурсов (назначенных ресурсов) вероятность разрушения конструкции воздушных судов за час полета должна составлять  $b=10^{-9}$ . [5,7]. Высокая надежность авиационной техники требует значительно больших затрат на производство единицы перемещения. Найдем на графике изменения полных средних затрат величину соответствующую затратам необходимым для осуществления единицы перемещения (один полет) с уровнем безопасности равным заданной нормативной величине  $\tilde{b} = 1 - b = 1 - 10^{-9}$  за час полета.

По нормативным требованиям **ПРОЕКТНЫЙ РЕСУРС (СРОК СЛУЖБЫ) конструкции - интервал времени (в полетах, летных часах, годах), установленный при проектировании и/или сертификации, в течение которого обеспечивается необходимый уровень безопасности конструкции по условиям прочности.** [5,7].

Одним из важнейших элементов существующей системы обеспечения безопасности в авиастроении является требование, что бы **общий объем натурных испытаний на сопротивление усталости должен быть не менее трех**

**проектных ресурсов** [7]. Таким образом, если проектный ресурс самолета равен 60 000 летным часам, то наземные ресурсные испытания натурной конструкции самолета на выносливость должны быть равны более чем  $60\,000 \cdot 3 = 180\,000$  летным часам. В процессе ресурсных испытаний выявляются усталостные трещины и повреждения, которые показывают слабые места конструкции. Все выявленные конструктивные зоны с недостаточной долговечностью подлежат ремонту и усилению, а затем испытания продолжаются до достижения заданной наработки - 180 000 летных часов. По каждому выявленному повреждению выпускается бюллетень проведения доработок, на основании которого выполняются ремонты серийных самолетов находящихся в эксплуатации, и изменяются чертежи конструкции самолетов, производство которых продолжается. Когда наработка конструкции достигает  $2/3$  от заданной, в нашем случае это 120 000 летных часов, дальнейшие испытания конструкции должны продолжаться уже с повреждениями, возникшими во время испытаний, а если они отсутствуют, то с искусственно внесенными повреждениями (имитацией трещин). По скорости развития трещин определяются характеристики живучести конструкции самолета. Затем, если конструкция выдержала воздействие переменных нагрузок, равных нагрузкам при налете 180 000 летных часов, проводят испытания на остаточную прочность. После завершения ресурсных испытаний натурной конструкции планера самолета, можно считать, что любая другая доработанная по результатам испытаний конструкция, если к ней приложить те же нагрузки, может с очень большой долей вероятности отработать без разрушений тот ресурс, который отработан на натурной конструкции в лабораторных условиях. Но при отработке этого ресурса, равного 180 000 летным часам, невозможно обеспечить безопасность полета удовлетворяющего нормативным требованиям. В этом случае вероятность разрушения конструкции за один час полета всегда будет выше нормативной величины (т.е. будет выше чем  $10^{-9}$ ). Одна из причин такого положения заключается в том, что нагрузки, которые прикладываются к натурной конструкции самолета во время испытаний, никогда не соответствуют ни величине, ни периодичности, ни месту их приложения к самолету во время реального полета. Спектр случайных нагрузок, действующих на самолет в воздушной среде, достаточно широк, и не может быть полностью воспроизведен на единичной натурной конструкции, предназначенной для наземных ресурсных испытаний. Прикладываемые нагрузки являются только усредненной моделью реальных нагрузок, действующих на конструкцию самолета. Случайные переменные нагрузки, действующие на каждый самолет из парка данного типа воздушных судов, всегда будут отличаться от нагрузок действующих на самолет во время испытаний. А значит, будет отличаться и величина ресурса самолета. Чтобы компенсировать разброс нагрузок по каждому экземпляру самолета и исключить наиболее тяжелые и более вероятные повреждения конструкции на конечной части его эксплуатации равной последним  $2/3$  наработки ресурса самолета, ресурс самолета устанавливают в размере  $1/3$  от **общего объема натуральных испытаний на сопротивление усталости**. Такой ресурс называют «проектным». Вероятность отказа на час полета за время его отработки будет значительно ниже, чем при полной отработке ресурса в лабораторных условиях. Назначение ресурса самолету в 3 раза ниже, чем наработка конструкции во время

наземных испытаний компенсирует все неточности определения величины ресурса. Уменьшенная величина проектного ресурса содержит тот запас (резерв) прочности, который компенсирует незнание реакции конструкции самолета на воздействие реальных нагрузок на начальном этапе ее эксплуатации. При накоплении опыта эксплуатации и подтверждении результатов расчетов и наземных испытаний этот резерв может быть использован. Устанавливая проектный ресурс в 3 раза меньший, чем срок проведенных наземных лабораторных испытаний и, выполняя другие мероприятия, предписанные системой обеспечения безопасности на всех этапах жизненного цикла воздушного судна, становится возможным достижение необходимого уровня безопасности конструкции, при котором вероятность отказа на час полета становится равной заданной величине  $b = 10^{-9}$ .

Проектный ресурс всего самолета определяется ресурсом самого долговечного и самого дорогого элемента его конструкции. Таким элементом самолета является его планер (фюзеляж, крыло, оперение и киль). Другие элементы конструкции самолета: двигатели, оборудование, шасси, авионика и прочие элементы могут иметь меньший ресурс, чем планер самолета, так как всегда имеется возможность их смены во время проведения планового ремонта или выполнения другого вида технического обслуживания.

График интенсивности повреждений планера самолета отличается от типового графика интенсивности повреждений, который имеет вид параболы (квадратичной функции). Интенсивность повреждений планера пассажирского самолета во время испытаний на выносливость близка к наклонной прямой. На рисунке 3 показан такой график интенсивности повреждений, который характеризует технику, имеющую высокий уровень проектирования и хорошую предварительную отработку. На начальном этапе работы такой техники исключаются случайные отказы приработки, и вогнутая кривая интенсивности отказов становится похожей на наклонную прямую. Это хорошо заметно по графикам интенсивности повреждений, построенных по результатам лабораторных ресурсных испытаний натурных конструкций всех видов авиационной техники, которые проводятся на протяжении многих десятилетий.\* *(Графики интенсивностей повреждения воздушных судов являются интеллектуальной собственностью конструкторских бюро и не могут быть опубликованы в настоящей статье).*

В соответствии с графиком интенсивности повреждений формируются графики предельных и переменных издержек. Эти графики как и график интенсивности повреждений, будут иметь вид наклонных прямых, на основании которых формируются графики полных затрат на единицу авиаперевозок, которые рассчитываются по формуле

$$C = \frac{Ц}{X} + B + KX$$

Где -  $C$  – полные затраты на один единицу авиаперевозок.

$B, K$  - параметры графика переменных затрат на единицу авиаперевозок.

$X$  наработка или общий объем натурных испытаний на сопротивление усталости

Если предположить, что максимальная наработка натурной конструкции во время ресурсных испытаний  $X_{\max}$  исп. равна оптимальной наработке конструкции Хорт, после которой начинается рост затрат на единицу перемещения, то тогда на этой



наработке  $X_{\max \text{ исп}} = X_{\text{орт}}$  образуются минимальные затраты на единицу перемещения (на один полет)  $C_{\min}$ . Образуется точка наработки, где производная полных затрат на единицу перемещения равна нулю. Вероятность отказа на час полета на такой наработке соответствует технике, не требующей высокой надежности, и которая недопустимо высока и превосходит нормативную величину, принятую в авиастроении. Но если известно что  $X_{\max \text{ исп}} = X_{\text{орт исп}}$ , то тогда можно найти полные средние затраты на один полет, которые образуются при отработке проектного ресурса самолета  $X_{\text{пр}}$  в эксплуатации, но с уже необходимым уровнем безопасности  $\tilde{b} = 1 - b = 1 - 10^{-9}$  за час полета. Действительно, так как проектный ресурс  $X_{\text{пр}}$  равен  $1/3$  наработки натурной конструкции в лабораторных испытаниях  $X_{\text{пр}} = (1/3) \cdot X_{\max \text{ исп}}$ , величина полных средних затрат  $C_{\text{пр}}$  будет, соответственно, располагаться над точкой  $X_{\text{пр}}$ , что показано на рисунке 3. Найденные затраты  $C_{\text{пр}}$  на единицу перемещения обеспечивают необходимый уровень безопасности полетов самолета на период назначенного ресурса.

Графики полных средних затрат  $C_{\text{пр}}$ , переменных средних затрат  $Z$ , амортизационных затрат  $A$ , предельных затрат  $Z_{\text{пр}}$  на один полет за проектный ресурс каждого типа воздушного судна можно рассчитать если знать величины  $K$ ,  $B$ . Расчеты проводят для одной наиболее массовой линии авиаперевозок. Изменение затрат можно представить в виде известного уравнения  $C(X) = \frac{C}{X} + B + KX$ . Минимум полных средних затрат на один полет приходится на конец отработки общего объема натуральных испытаний на сопротивление усталости, где первая производная функции полных средних затрат на один полет равна нулю.  $C'(x) = -\frac{C}{x^2} + K = 0$  Из этого условия получаем еще одно уравнение и в системе из двух уравнений,

$$C_{\text{пр}} = \frac{C}{X_{\text{пр}}} + B + KX_{\text{пр}}$$

$$-\frac{C}{x^2} + K = 0$$

Так как известны  $C$  - цена воздушного судна,  $C_{\text{пр}}$  - затраты на 1 рейс воздушного судна,  $X$  - общий объем натуральных испытаний на сопротивление усталости,  $X_{\text{пр}}$  - проектный ресурс воздушного судна в полетах ( $X_{\text{пр}} = 1/3 X$ ), то можно найти величины  $K$ ,  $B$ , а затем построить график изображенный на рисунке 3 для любого типа самолета.

Когда срок эксплуатации достигает величины проектного ресурса  $X_{\text{пр}}$ , который на рисунке 3 обозначен отрезком  $OX_{\text{пр}}$ , то это означает, что средство производства полностью восстановило затраты на своё производство, т.е. перенесло их в виде амортизационных затрат на произведенный объем продукции.

В случае продления ресурса (срока службы) воздушному судну средние полные затраты на каждую единицу продукции будут ниже его предыдущих затрат на величину амортизации  $A = C/X_{\text{пр}}$  равной отрезку  $C_{\text{пр}} Z_{\text{пр}}$ . Полные средние затраты на единицу продукции, после продления срока эксплуатации воздушному судну, скачкообразно становятся равными средним переменным затратам на единицу продукции  $Z_{\text{пр}}$ , которые обозначены отрезком  $X_{\text{пр}} Z_{\text{пр}}$ .

Полные средние затраты будут постепенно возрастать по линии графика переменных затрат  $Z$ , обозначенной точками  $Z_{пр}$ - $Z$  на рисунке 3. Резкое снижение затрат на величину амортизации в каждой единице продукции (один полет), без дополнительных капитальных вложений, для всех авиакомпаний мира является непреодолимым соблазном для получения сверхприбыли. И они всегда требовали, и будут требовать продления эксплуатации воздушных судов. Полная выработка проектного ресурса не означает, что наступил конец эксплуатации воздушного

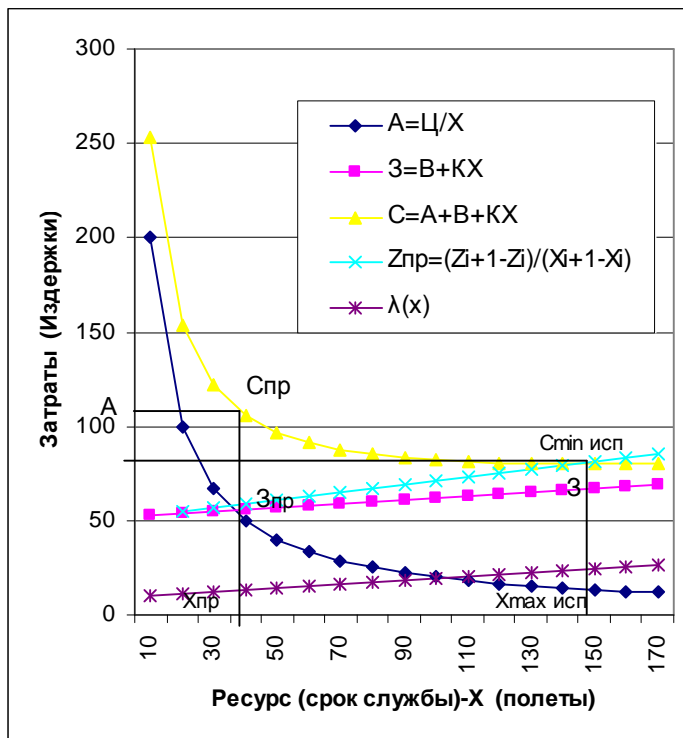


Рисунок 3– Влияние линейного изменения величины интенсивности отказов  $\lambda(x)$  на затраты  $Z_{пр}$ ,  $Z$ ,  $C$ .

судна. Техническая экспертиза может дать заключение о возможности продления ресурса, так как на дополнительный период эксплуатации воздушного судна его безопасность будет оставаться на приемлемом уровне. На основании заключения технической экспертизы может быть принято обоснованное решение о продолжении эксплуатации не только отдельному экземпляру самолета, но и всему парку данного типа самолетов. Продление ресурса производится поэтапно на сравнительно небольшие интервалы времени, чтобы в случае возникновения трещины и ее развития её можно было надежно обнаружить и провести ремонт, не давая ей возможности, возрасти до опасных размеров. Если в момент времени, когда принимается решение о продлении эксплуатации стареющего воздушного судна, не существует альтернативы смены его на самолет новейшей разработки, то поэтапное продление ресурса будет происходить до того момента времени, пока техническая экспертиза не запретит дальнейшую эксплуатацию самолета по условиям снижения уровня безопасности. Отметим, что нарушение запрета грозит катастрофическими последствиями

Предположим, что одновременно с продлением ресурса (срока службы) стареющего самолета возможна его смена на новый более совершенный самолет, эксплуатация которого обходится с меньшими затратами на один полет.

В случае, если в момент завершения проектного ресурса стареющего самолета затраты на единицу перемещения у самолета новой разработки будут меньше затрат на единицу перемещения стареющего самолета, уменьшенных на величину амортизации.

$$Z_{пр ст} = C_{пр ст} - a_{ст} > C_{пр н}$$

то тогда смена парка должна быть осуществлена немедленно. Так как это наимыгоднейший вариант, который и представлен на рисунке 4.

Если затраты на единицу перемещения у самолета новой разработки будут больше затрат на единицу перемещения стареющего самолета, уменьшенных на величину амортизации

$$Z_{пр ст} = C_{пр ст} - a_{ст} < C_{пр н}$$

то тогда продление ресурса стареющему самолету будет экономически более

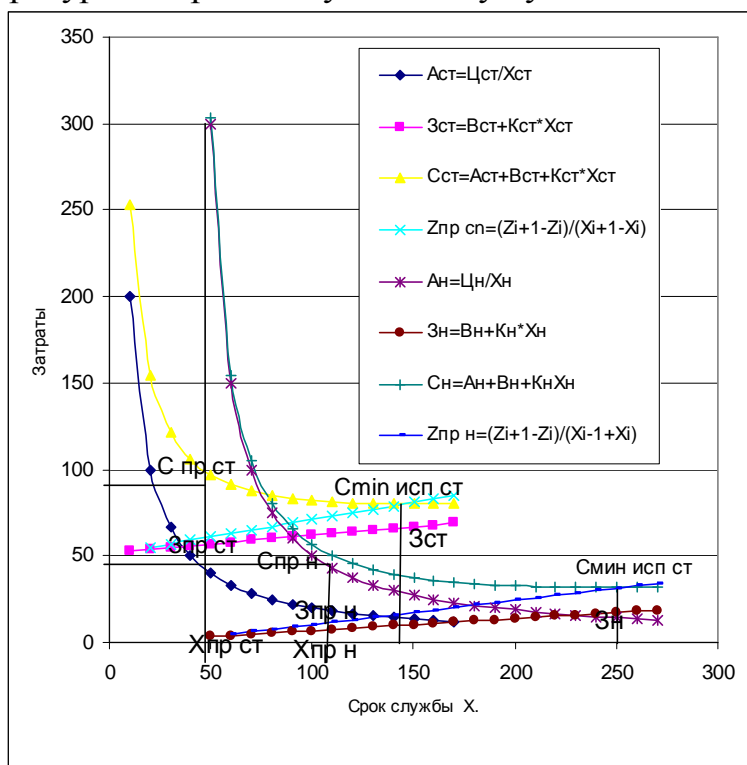


Рисунок 4 Динамика структуры затрат стареющего и воздушного судна новейшей разработки, позволяющая смену сразу после исчерпания ресурса стареющего самолета

эффективным вариантом, чем ввод в эксплуатацию нового самолета. В этом случае продление ресурса стареющему самолету снижает затраты на единицу авиаперевозок больше, чем новый самолет. Затраты на единицу авиаперевозок на стареющем самолете будут проходить по медленно возрастающей прямой  $Z_{пр ст}$  рисунки 3,4. Продление ресурса стареющему воздушному судну возможно только после проведения технической экспертизы и получения заключения о продлении ресурса на точно определенный срок, на протяжении которого безопасность производства полетов остается на приемлемом уровне.

Если расчеты показывают, что необходимого снижения затрат на проектируемом самолете достигнуто быть не может, то разработку лучше не начинать, а продолжать выпуск стареющего воздушного судна с непрерывным постоянным совершенствованием существующей конструкции. Если запас

совершенствования конструкции находится на исходе, то целесообразно начинать разработку нового воздушного судна, даже тогда когда заранее известно, что никогда не будет достигнуто снижение затрат до величины  $C_{\min \text{ст-а ст}} > C_{\min \text{н}}$ . В этом случае приходится руководствоваться старым испытанным критерием  $C_{\min \text{ст}} > C_{\min \text{н}}$ .

Такие постоянно совершенствующие конструкции будут приходить на смену самолетам, исчерпавшим свой ресурс.

В случае, если до окончания назначенного ресурса (срока службы) стареющего самолета будет создано воздушное судно новой разработки, то для того чтобы оно было немедленно введено в эксплуатацию его затраты единицу авиаперевозок не только должны компенсировать недоамортизированную стоимость старого самолета, но и к моменту окончания назначенного срока службы стареющего самолета, должны быть ниже затрат стареющего самолета на величину амортизации.  $Z_{\text{пр ст}} = C_{\text{пр ст-а ст}} > C_{\text{пр н}}$ .

Это условие превосходит и поглощает условие компенсации недоамортизированных затрат, поэтому при досрочно смене стареющего воздушного судна необходимо, чтобы затраты на единицу авиаперевозок на воздушном судне новой разработки были ниже затрат стареющего воздушного судна на величину его амортизации.  $Z_{\text{пр ст}} = C_{\text{пр ст-а ст}} > C_{\text{пр н}}$

Список использованных источников:

- 1.Новожилов В.В. Методы определения оптимальных сроков службы средств труда. Ленинградский инженерно-экономический институт. Труды Вып.44.
2. Когут А.Е., Новожилов В.И. Выбор экономических параметров машин при конструировании. Ленинград. «Машиностроение» 1974 г.
3. Кликушин С.Н. Определение оптимального времени досрочной смены морально стареющих средств производства. *Часть 1. (Моделирование процесса изменения переменных затрат квадратичной функцией  $Z = \frac{1}{n} \times (X - M)^2 + B$ ). РЭиЖ опубликовано 30.01.2010 г.*
4. Кликушин С.Н. Определение оптимального времени досрочной смены морально стареющих средств производства. *Часть 2. (Моделирование процесса изменения переменных затрат линейной функцией  $Z = B + KX$ )*
5. Нормы летной годности гражданских транспортных самолетов стран-членов СЭВ 1985
6. Отчет. «Концепция и программа мероприятий по обеспечению надёжности и безопасности технических средств по условиям прочности». 2008 г.
- Л.Л. Чернышев. В.Д. Вермель. Г.Н. Замула. В.М. Чижов. В.И. Цымбалюк. Г.И. Нестеренко. В.С. Дубинский. И.С. Яблонский. В.И. Гришин. И.Г. Хлебникова. К.С. Щербань. Ю.М. Никитченко. И.Е. Ушаков.
7. Авиационные правила. Часть 25. 2004 г.