

**Оценка стоимости жизненного цикла на стадиях внешнего и рабочего проектирования авиационной техники**

**Фридлянд А.А.**, доктор экономических наук, профессор,

Московский государственный технический университет гражданской авиации» (МГТУ ГА), Москва, Россия

**Горелов Б.А.**, кандидат экономических наук, доцент,

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (МАИ), Москва, Россия

**Гязова М.М.**, кандидат экономических наук, доцент,

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (МАИ), Москва, Россия

**Аннотация.** Наличие в распоряжении проектировщиков надежного инструмента достоверной экономической оценки стоимости жизненного цикла (ЖЦ) авиационной техники (АТ) – включая проектирование, серийное производство и эксплуатацию, в том числе наземное техническое обслуживание, ремонт и утилизацию, позволяет обеспечить создание высокоэффективной конкурентоспособной АТ, обладающей высоким функциональным совершенством и удовлетворяющей требованиям высокой экономичности, на основе проектирования ее с учетом технико-эксплуатационных параметров стоимости ЖЦ. Важную роль при этом, в особенности на стадии внешнего проектирования, играет формирование основных параметров технического задания на проектирование и определение обоснованной лимитной цены АТ.

**Ключевые слова:** лимитная цена, предельно допустимая цена, проектирование самолета, стоимость жизненного цикла, критерии эффективности.

## **Estimating the cost of the life cycle at the stages of external and working design of aviation equipment**

**Fridlyand A.A.**, Doctor of Economics, professor, Moscow State Technical University of Civil Aviation (MSTU GA), Moscow, Russia

**Gorelov B.A.**, candidate of economic sciences, associate professor, Moscow Aviation Institute (National Research University) (MAI), Moscow, Russia

**Gyazova M.M.**, candidate of economic sciences, associate professor, Moscow Aviation Institute (National Research University) (MAI), Moscow, Russia

**Annotation.** Designers have at their disposal a reliable tool for reliable economic appraisal of the life cycle (life cycle) value of aviation equipment (AE) – including design, mass production and operation, including ground maintenance, repair and disposal, allows for the creation of a highly efficient competitive AE with high functional perfection and satisfying the requirements of high efficiency, based on its design, taking into account the technical and operational parameters of the life cycle cost. An important role in this, especially at the stage of external design, is played by the formation of the basic parameters of the design specification and the determination of the reasonable limit price for AE.

**Keywords:** limit price, maximum allowable price, aircraft design, life cycle cost, efficiency criteria.

**Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ.**

**Проект 17-06-00235.**

Проектирование самолета – разработка сложной технической системы, каждый модуль (элемент, подсистема) которой характеризуется огромным числом параметров, связей между ними, весьма сложных для формализованного описания. Проектирование самолета, как технической системы, представляет собой нахождение оптимума целевого функционала,

аргументами которого являются технико-эксплуатационные характеристики самолета, зависящие от располагаемых научно-технических возможностей, имеющихся в распоряжении различных ресурсов, условий и ограничений окружающей среды, включая спрос потребителей и действия конкурентов.

Процедура достижения целей проектирования – это многокритериальный отбор проектных решений для различных элементов и подсистем на различных этапах проектирования, производства и эксплуатации самолета. Для нахождения из множества альтернативных вариантов оптимального проектного решения нужно использовать критерий (критерии) выбора, обобщенно характеризующие степень достижения поставленной цели тем или иным вариантом проекта. В качестве глобального критерия для выбора оптимальных параметров АТ необходимо использовать соотношение показателей – интегрального эффекта за время ЖЦ АТ и стоимости ЖЦ АТ, которые формулируются в двух вариантах постановки задачи:

1. Обеспечить минимальную стоимость создания и использования АТ на единицу эффекта (минимальные удельные затраты на единицу эффекта за полный жизненный цикл АТ).

2. Обеспечить минимальную стоимость создания и использования АТ за период ее ЖЦ при выполнении заданных требований к ее эффективности за период ЖЦ.

Рассмотрим содержание и взаимосвязь комплексов основных задач при создании АТ, оптимизируемой по критерию «эффективность – стоимость жизненного цикла».

### **Этапы жизненного цикла**

ЖЦ авиационной техники может включать в себя следующие основные этапы:

1. Фундаментальные и поисковые исследования;
2. Маркетинг и внешнее проектирование;
3. Рабочее проектирование;
4. Изготовление опытных образцов, испытания и доводка;

5. Технологическая подготовка производства (ТПП);
6. Серийное производство;
7. Эксплуатация и послепродажное обслуживание;
8. Утилизация.

Эти этапы могут частично перекрываться. Также этапы ЖЦ одного поколения изделий могут переходить в этапы ЖЦ следующего поколения и т.д. ЖЦ АТ характеризуется большой протяженностью отдельных этапов. Например, создание самолета или авиадвигателя длится до 5...10 лет. Но наиболее протяженными являются последующие стадии ЖЦ. Например, серийное производство широкофюзеляжного пассажирского самолета – Боинг-747 – продолжается с 1970 года, а полный вывод из эксплуатации стратегического бомбардировщика ВВС США – В-52 – намечен лишь на 2040-е гг., причем последний экземпляр наиболее современной модификации В-52Н был построен в 1962 году.

Можно привести не менее впечатляющие примеры и из отечественной практики: например, самолеты Ан-2 и Ан-24 (эксплуатируются, соответственно, около 70 и около 55 лет) или АН-24.

### **Параметры технического задания на создание авиационной техники**

Важным этапом разработки новой АТ является обоснование основных параметров технического задания (ТЗ) на его разработку и производство.

В качестве примера рассмотрим основные параметры ТЗ на проектирование пассажирского самолета.

**1. Назначение самолета.** Включает, например, такие характеристики как характер коммерческой нагрузки, сегмент эксплуатируемых воздушных линий, интенсивность пассажиро- и грузопотока на обслуживаемой авиасети, требования к характеристикам аэродромов и метеоусловиям.

**2. Общие требования.** Описание соответствия самолета, его системы, двигателей, оборудования, комплектующих изделий, средств наземного обслуживания и ремонта, экологических характеристик, а также

эксплуатационной документации требованиям авиационных правил, международных, государственных и отраслевых стандартов и нормативов.

**3. Летно-технические характеристики.** Максимальные пассажировместимость и коммерческая нагрузка самолета, практическая дальность полета с максимальной коммерческой нагрузкой, крейсерская скорость самолета на заданной высоте, время полета на крейсерском режиме до запасного аэродрома, требования к аэродрому базирования.

**4. Ресурсные характеристики.** Срок службы и ресурс конструкции самолета до списания.

**5. Экипаж.** Количество человек летного экипажа и бортпроводников.

**6. Комфорт пассажирского салона.** Задаются параметры соответствия класса салона при максимальной пассажировместимости.

**7. Оборудование самолета.** Задаются требования к оборудованию самолета, которое должно включать: пилотажно-навигационное оборудование, радиосвязное оборудование, противообледенительную систему, систему кондиционирования воздуха и автоматического регулирования давления в гермокабине, противопожарное оборудование, кислородное оборудование, аварийно-спасательное оборудование, бортовые системы контроля и регистрации полетных данных, гидравлическую систему, систему управления самолетом, систему электроснабжения, бытовое оборудование пассажирского салона.

**8. Силовая установка и ВСУ.** Обозначается тип двигателя и требования к ВСУ.

**9. Система технического обслуживания и ремонта.** Формируются требования к программам технического обслуживания и ремонта самолета.

**10. Характеристики технического уровня.** Формулируются требования к показателям весовой отдачи и топливной эффективности эксплуатации самолета, а также к технически возможному среднегодовому налету часов, которые должны быть не меньше соответствующих показателей эффективности самолетов-аналогов.

## **11. Лимитная цена**

В настоящее время установление лимитной цены перестало быть обязательной практикой при формировании ТЗ на проектирование самолета, что объясняется высоким уровнем инфляции в экономике России в период после 1991 года.

Однако ранее, в период СССР, действовало Постановление Совета Министров СССР от 10.08.1972 г. № 630 «О дальнейшем совершенствовании порядка установления и применения цен на промышленную и сельскохозяйственную продукцию, а также тарифов на перевозки и другие услуги, оказываемые народному хозяйству и населению», которым было установлено, что «для повышения ответственности изготовителей, конструкторских и проектных организаций за разработку эффективных технических решений, применение которых приводит к повышению технико-экономических показателей изделий и технологических процессов и созданию новой, прогрессивной и экономически эффективной продукции, превосходящей по своим технико-экономическим показателям высшие достижения отечественной и зарубежной науки и техники или соответствующей им, на стадии проектирования определяется лимитная цена, являющаяся обязательным параметром технического задания на конструирование (проектирование) новой продукции. Лимитная цена должна определяться организацией, выдающей техническое задание, по согласованию с ... изготовителем, а в необходимых случаях и с конечным потребителем».

В ОАО РЖД в настоящее время действует методика определения стоимости жизненного цикла и лимитной цены подвижного состава и сложных технических систем железнодорожного транспорта, утвержденной распоряжением ОАО РЖД от 27.12.2007 г. № 2459р. Указанной методикой лимитная цена нового (модернизированного) изделия определяется на стадии проектирования в целях оценки экономической и социальной целесообразности разработки новой продукции с заданными технико-экономическими параметрами, ограничения роста затрат на ее производство и обеспечения

относительного удешевления на единицу конечного полезного результата (эффекта). Лимитная цена (ЛЦ) определяется потребителем (заказчиком) на основе расчета прогнозной величины полезного эффекта. ЛЦ не может служить основанием для установления оптовых цен на продукцию предприятий, производящих новые изделия, которые рассчитываются по статьям затрат в соответствии с конкретными условиями производства. Однако ЛЦ определяет тот предельный уровень стоимости новой техники, при котором потребителю обеспечивается минимальный полезный эффект по сравнению с заменяемой техникой или аналогом.

Таким образом, ЛЦ, как один из важнейших параметров ТЗ, определяет предельно допустимый уровень цены самолета, оптимизированный по критерию эффективности «стоимость жизненного цикла/заданный объем перевозок», отражающий на основе стоимостной оценки улучшение его потребительских свойств, при котором обеспечивается относительное удешевление выполняемой целевой функции.

### **Оценка критерия «стоимость жизненного цикла/заданный объем перевозок»**

На этапе ЖЦ «маркетинг и внешнее проектирование» проводится текущий и прогнозный анализ динамики рынка применения авиатехники, исследуются стратегии и технические возможности конкурентов. Одновременно исследуются прогнозные макроэкономические условия производства и эксплуатации АТ, влияющие на формирование спроса и эффективность применения АТ (такие как темпы макроэкономического роста, курсы валют, инфляция и ставка дисконта, стоимость авиаГСМ, уровень заработной платы и доходы населения). На основании анализа внешних факторов определяется прогнозный спрос на авиаперевозки по интересующим сегментам маршрутной сети:

$$\{Q_{jl}\} \text{ при } j=1\dots; l=1\dots;$$

где  $j$  – виды перевозок (пассажиры, грузы, почта);

$l$  – маршруты перевозок в сегментах МВЛ, ВВЛ.

Стоимость жизненного цикла АТ формируется как сумма затрат по этапам и годам ЖЦ:

$$C_{жц} = \sum_{t=1}^{T_0} \sum_{i=1}^{I_0} Z_i^t \cdot k_t^d \rightarrow \min ,$$

при объеме использования АТ (перевозок) равным ожидаемым потребностям  $Q = \{Q_{jl}\}$ , то есть на всей маршрутной сети по всем видам перевозок, при условии минимизации всех затрат, где

$i$  – этап ЖЦ;

$t$  – календарный год в рамках ЖЦ;

$T_0$  – общая продолжительность ЖЦ;

$I_0$  – количество этапов ЖЦ;

$Z_i^t$  – затраты на  $i$ -м этапе ЖЦ в определенный год ( $t$ );

$k_t^d$  – коэффициенты дисконтирования, дифференцированные по календарным годам ЖЦ.

Суммарные затраты ЖЦ определяются при условии, что в каждом году выполняется определенный (диктуемый спросом) объем перевозок, работ, услуг, который должен быть определен уже на стадии ТЗ, т.е. оптимизация параметров ТЗ и/или проектирования решается как задача с ограничениями: формируются объемы перевозок, работ, услуг по годам, а суммарные (по годам и технологической структуре) затраты ЖЦ АТ, с учетом всех стадий ее создания и использования, используются как минимизируемый критерий оптимизации (с учетом соответствующего дисконтирования).

Поскольку стоимость ЖЦ рассчитывается по определенным временным периодам, учитываются различные аспекты фактора времени: инфляция; неопределенности и риски.

Исходя из международного опыта, стоимость ЖЦ наукоемких систем (в том числе авиационных систем) включает все расходы, понесенные в течение



жизненного цикла проекта, связанные с созданием и использованием АТ, которые связаны с ее приобретением (включая расходы на разработку и производство), технико-коммерческой эксплуатацией по целевому назначению, поддержанием эксплуатационной годности (техническим обслуживанием и ремонтом), а также конечной утилизацией.

Перечень статей затрат, рассматриваемых в конкретных проектах, определяется и конкретизируется в структуре затрат жизненного цикла, которая формируется по регламентируемым государством правилам и включает все составляющие калькулируемых расходов ЖЦ, методология учета которых должны обеспечить сопоставимость расчетов и универсальность применяемых методик – структура затрат должна обладать способностью «адаптации» к особенностям конкретной системы, проекта, программы в ходе их реализации на протяжении всего ЖЦ.

В таблице 1 представлен, с учетом обобщения международного опыта, пример построения структуры затрат на обеспечение полного жизненного цикла проекта создания и эксплуатации АТ.

Таблица 1

**Пример структуры затрат на обеспечение полного жизненного цикла проекта создания и эксплуатации авиационной техники**

1.0.	ЗАТРАТЫ НА СОЗДАНИЕ
1.0.1.	Затраты на научные исследования
1.0.2.	Затраты на конструкторские работы
1.0.3.	Затраты на разработку
1.0.4.	Затраты на внесение изменений в конструкцию, корректировку/доработку
1.1.	Затраты на материалы
1.1.1.	Затраты на материально-техническое снабжение
1.1.1.1	Затраты на дополнительные материалы
1.1.2.2	Затраты на производство и изготовление
1.1.3.	Затраты на страхование поставок
1.2.	Затраты на материально-техническое обеспечение (МТО)
1.2.1.	Затраты на обучение
1.2.1.1	Затраты на обучение пользователя
1.2.1.1.1	Затраты на преподавателей
1.2.1.1.2	Тренажеры
1.2.1.1.3	Средства обучения

1.2.1.1.4	Оборудование для обучения
1.2.1.2	Затраты на подготовку технического персонала
1.2.1.2.1	Затраты на преподавателей
1.2.1.2.2	Средства обучения
1.2.1.2.3	Оборудование для обучения
1.2.2.	Затраты на запасные части
1.2.3.	Затраты на контрольно-измерительные приборы
1.2.4.	Затраты на инструменты
1.2.5.	Затраты на документацию
1.2.5.1	Затраты на документацию для пользователя
1.2.5.2	Затраты на документацию по техобслуживанию
1.2.6.	Затраты на документы информационного содержания
1.2.7.	Затраты на инфраструктуру
1.2.7.1	Здания
1.2.7.1.1	Затраты на строительство новых зданий
1.2.7.1.2	Затраты на переделку существующих зданий
1.2.7.1	Работа
1.2.7.2.1	Затраты на строительство новых зданий
1.2.7.2.2	Затраты на переделку существующих зданий
1.2.7.3	Стройплощадка
1.2.7.3.1	Затраты на строительство новых зданий
1.2.7.3.2	Затраты на переделку существующих зданий
1.2.8.	Затраты на транспортировку
1.2.9.	Затраты на потребительские товары
1.3.	Затраты на подготовку объекта
1.3.1.	Затраты на испытания
1.3.1.1	Опытные образцы
1.3.1.2	Затраты на материально-техническое обеспечение
1.3.1.3.	Затраты на персонал
1.3.1.4.	Затраты на потребительские товары
1.3.1.5.	Затраты на привлечение внешнего подрядчика
1.3.1.6.	Затраты на управление испытаниями
1.3.2.	Затраты на осуществление проекта
1.3.2.1	Затраты на приобретение (закупку)
1.3.2.2	Затраты на управление конфигурацией проекта
1.3.2.3	Затраты на привлечение внешнего подрядчика
1.3.3.	Затраты на импорт товаров
1.3.3.1	Затраты на транспортировку и сбыт продукции
1.3.3.2	Затраты на монтажные работы
1.4.	Прочие расходы
2.	ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ РАСХОДЫ
2.1.	Затраты на использование
2.1.2.	Затраты на персонал

2.1.2.	Затраты на обучение операторов
2.1.2.1	Затраты на преподавателей
2.1.2.2	Тренажеры
2.1.2.3	Средства обучения
2.1.2.4	Оборудование для обучения
2.1.3.	Затраты на документацию для пользователей
2.1.4.	Затраты на использование материалов для инфраструктуры
2.1.4.1	Здания
2.1.4.1.1	Затраты на управление и материально-техническое оснащение (МТО)
2.1.4.1.2	Периодические амортизационные затраты на старые здания
2.1.4.2	Работа
2.1.4.2.1	Затраты на управление и МТО
2.1.4.3	Стройплощадка
2.1.4.3.1	Затраты на управление и МТО
2.1.4.3.2	Периодические амортизационные затраты на старые здания
2.1.5.	Затраты на потребительские товары
2.1.5.1	Затраты на топливо
2.1.5.2	Затраты на технологическое снаряжение
2.1.5.3	Затраты на другие расходные материалы
2.2.	Затраты на техобслуживание
2.2.1.	Затраты на технический персонал
2.2.2.	Затраты на подготовку технического персонала
2.2.2.1	Затраты на преподавателей
2.2.2.2	Средства обучения
2.2.2.3	Оборудование для обучения
2.2.3.	Затраты на запасные части
2.2.4.	Складские расходы
2.2.5.	Затраты на контрольно-измерительные приборы
2.2.6.	Затраты на инструменты
2.2.7.	Затраты на документацию по техобслуживанию
2.2.8.	Затраты на документы информационного содержания
2.2.9.	Затраты на использование материалов для инфраструктуры
2.2.9.1	Здания
2.2.9.1.1	Затраты на управление и МТО
2.2.9.1.2	Периодические амортизационные затраты на старые здания
2.2.9.2	Работа
2.2.9.2.1	Затраты на управление и МТО
2.2.9.2.2	Периодические амортизационные затраты на старые здания
2.2.9.3	Стройплощадка
2.2.9.3.1	Затраты на управление и МТО
2.2.9.3.2	Периодические амортизационные затраты на старые здания
2.2.10.	Транспортные расходы

2.2.10.1	Материалы
2.2.10.2	Запасные части/Инструменты для ремонта
2.2.11.	Затраты на привлечение внешнего подрядчика по техобслуживанию
2.2.12.	Затраты на модификацию/модернизацию
3.	РАСХОДЫ ПО ЛИКВИДАЦИИ ОБЪЕКТА
3.1.	Затраты на материал
3.1.1.	Ликвидационная стоимость оборудования
3.1.2.	Вновь понесенные затраты
3.1.3.	Затраты на разрушение
3.2.	Затраты на материально-техническое оснащение
3.2.1.	Ликвидационная стоимость оборудования
3.2.1.1	Инфраструктура
3.2.1.2	Другие составляющие логистической поддержки
3.2.2.	Расходы по ликвидации объекта
3.2.3.	Затраты на утилизацию

Использование оценки стоимости ЖЦ независимо от этапа реализации программы предоставляет важную информацию о системе, с помощью которой лица, принимающие решения, могут делать предположения (прогнозы) по предстоящим затратам, управлять существующими бюджетами и принимать оптимальные решения по предлагаемым им вариантам реализации проекта.

При проведении финансовых оценок затраты должны разделяться между держателями бюджета, выделенного на проект, с тем чтобы они понимали вносимый ими вклад на каждом этапе и его значимость в рамках жизненного цикла Системы как в целом, так и по каждой основной категории привлекаемых ресурсов и осуществляемых затрат.

Наличие объективных оценок стоимости ЖЦ позволяют сделать указанный показатель эффективным инструментом управления при проектировании авиационной техники, с помощью которого можно прогнозировать и оптимизировать затраты на любую систему.

Стоимость ЖЦ должна использоваться в качестве отправной точки, в соответствии с которой могут быть определены варианты выбора «эффективности расходования средств» в процессе исполнения контракта на создание и поставку дорогостоящего наукоемкого продукта, учитывая при этом, что максимальные возможности снижения стоимости ЖЦ имеются, как

правило, на ранних этапах проектирования. Таким образом, главная цель использования стоимости ЖЦ – его применение в качестве комплексного критерия принятия решений и оптимизации в процессе поиска компромисса между критериями времени, затратами и эксплуатационной эффективностью.

### **Библиографический список**

1. Постановление Совета Министров СССР от 10.08.1972 года № 630 «О дальнейшем совершенствовании порядка установления и применения цен на промышленную и сельскохозяйственную продукцию, а также тарифов на перевозки и другие услуги, оказываемые народному хозяйству и населению».

2. «Методика определения стоимости жизненного цикла и лимитной цены подвижного состава и сложных технических систем железнодорожного транспорта» утвержденная распоряжением ОАО РЖД от 27.12.2007 г. № 2459р.

3. Горелов Б.А., Гязова М.М. Ключевые показатели эффективности и формирование ориентированного на конечный результат механизма стимулирования в рамках контрактов жизненного цикла // СТИН – Станки Инструмент. – 2017. – №10.

4. Клочков В.В., Гусманов Т.М. Проблемы прогнозирования спроса на перспективные гражданские самолеты российского производства // Проблемы прогнозирования. – 2007. – № 2. – С. 16-31.

5. Клочков В.В., Гусманов Т.М. Маркетинговые информационные технологии в авиастроении // Маркетинг в России и за рубежом. – 2007. – № 6. – С. 10–18.

6. Погосян М.А., Лисейцев Н.К., Стрелец Д.Ю. и др. Проектирование самолетов: учебник. – М.: Инновационное машиностроение, 2018. – 864с.

### **References**

1. Resolution of the Council of Ministers of the USSR of 10.08.1972 № 630 «On further improvement of the procedure for establishing and applying prices for

industrial and agricultural products, as well as tariffs for transportation and other services rendered to the national economy and population».

2. «Methodology for determining the cost of the life cycle and the limit price of rolling stock and complex technical systems of railway transport» approved by the Russian Railways decree dated 27.12.2007 № 2459p.

3. Gorelov B.A., Gyazova M.M. Key performance indicators and the formation of an incentive-based incentive mechanism within life-cycle contracts. // STIN – Machine Tools. – 2017. – № 10.

4. Gyazova M.M. Formation of the cost structure and cost estimation of the life cycle of science-intensive systems // The Russian Economic Internet Journal. – 2018. – № 2.

5. Klochkov V.V., Gusmanov T.M. Problems of Forecasting Demand for Promising Civil Aircraft of Russian Production // Problems of Forecasting. – 2007. – № 2. – P. 16-31.

6. Klochkov V.V., Gusmanov T.M. Marketing information technologies in aircraft building // Marketing in Russia and abroad. – 2007. – № 6. – P. 10-18.

7. Pogosyan M.A., Liseitsev N.K., Strelets D.Yu. и др. Designing of aircraft: the textbook. – Moscow: Innovative mechanical engineering, 2018. – 864p.