

# ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

DOI: 10.36622/VSTU.2021.11.32.006

УДК 629.735.01.003.1

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ СОЗДАНИИ САМОЛЕТА НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ СТОИМОСТИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

**М.М. Гязова, О.В. Ермолаева**

Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет)  
Россия, 125080, Москва, Волоколамское шоссе, д. 4

**Введение.** Самолет, отвечающий требованиям высокой экономической эффективности, может быть разработан, если его конструкция основана на требованиях и параметрах, сформированных на концепции жизненного цикла (ЖЦ). В данной статье представлена модель стоимости ЖЦ по предполагаемому типу проектируемого самолета, на основе которой был проведен анализ данных и расчёт лимитной цены. Одной из важнейших стадий проектирования является стадия внешнего или эскизного проектирования, для эффективности которой обоснование лимитной цены проекта является важнейшим компонентом

**Данные и методы.** Описанный метод включает в себя анализ результирующих затрат для обеспечения полного жизненного цикла системы проекта самолета и аргументирование предельной цены на основе представленной модели стоимости жизненного цикла проектируемого самолета на этапах внешнего или эскизного проектирования. В статье представлена возможная методология создания классификационной кодированной структуры для оптимизации проектно-эксплуатационных характеристик и требований к техническому заданию при проектировании самолета, базирующегося на основе модели жизненного цикла

**Полученные результаты.** По результатам проведенного анализа выявлено, что требования по оптимизации проектно-эксплуатационных характеристик самолета отражаются в формировании предельной цены, характеризующей расчётную максимально возможную стоимость летательного аппарата, которая будет соответствовать заданным и необходимым аспектам производительности

**Заключение.** В случае, когда за основу формирования стоимости целого жизненного цикла летательного аппарата взят аспект высокой производительной результативности, возможно добиться вспомогательного результата, выражающегося в совершенствовании характеристик самолета для потребителей, а также условном уменьшении эксплуатационной стоимости данного летательного аппарата

---

### Сведения об авторах:

**Гязова Марина Мухарбиевна** (mgyazova@gmail.com), кандидат экономических наук, доцент кафедры 505 Московского авиационного института (Национального исследовательского университета)

**Ермолаева Ольга Вадимовна** (seizeikan@gmail.com), магистрант кафедры проектирования и сертификации авиационной техники Московского авиационного института (Национального исследовательского университета)

### On authors:

**Marina M. Gyazova** (mgyazova@gmail.com), Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of Department 505 of the Moscow Aviation Institute (National Research University)

**Olga V. Ermolaeva** (seizeikan@gmail.com), Master student of the Department of Design and Certification of Aviation Equipment, Moscow Aviation Institute (National Research University)

**Ключевые слова:** авиастроение, оптимизация и минимизация, конструкция самолета, проектные и эксплуатационные характеристики, предельная цена, предельно допустимая цена, целевая стоимость, стоимость жизненного цикла, критерии эффективности, структурная разбивка затрат, структурное разбиение затрат.

**Для цитирования:**

Гязова М.М., Ермолаева О.В. Анализ методов оптимизации при создании самолета на основе оценки стоимости жизненного цикла // Организатор производства. 2021. Т.29. № 2. С. 54-66. DOI: 10.36622/VSTU.2021.11.32.006.

### ANALYSIS OF OPTIMIZATION METHODS BASED ON AIRCRAFT LIFE CYCLE COST ESTIMATES

**M.M. Gyazova, O.V. Ermolaeva**

Moscow Aviation Institute (National Research University)  
Russia, 125080, Moscow, Volokolamskoe highway, 4

**Introduction.** An airplane assembly the prerequisites of tall financial proficiency can be created in case its plan is based on the necessities and parameters shaped on the life cycle concept (LC). The article presents a lifecycle taken a toll demonstrate for the aiming sort of the outlined airplane, based on which the information examination and constrain cost calculation were carried out. One of the foremost imperative plan stages is the outside or conceptual plan organize, for the effectiveness of which the defense of the restrain cost of the extend is the foremost imperative component. The depicted strategy incorporates an analysis of the coming about costs to guarantee the total life cycle of the airplane plan framework and the thinking of the constrain cost based on the displayed life cycle fetched demonstrate, of the outlined aircraft at the outside or conceptual plan stages.

**Data and Methods.** The paper presents a conceivable strategy for making a classification-coded structure to optimize the plan execution and prerequisites to the determination for the design. The portrayed strategy incorporates the examination of the coming about costs to guarantee the total life cycle of the aircraft plan framework and the argumentation of the negligible cost based on the displayed life cycle fetched demonstrate of the outlined airplane at the stages of outside or preparatory plan. The article presents a conceivable strategy for making a classification-coded structure to optimize plan and operational characteristics and prerequisites for specialized determinations when planning an airplane based on a life cycle model.

**Obtained results.** Based on the comes about of the investigation, it was uncovered that the necessities for optimizing the plan and operational characteristics of the aircraft are reflected within the arrangement of the minimal cost characterizing the evaluated greatest conceivable cost of the aircraft, which can compare to the desired and essential viewpoints of execution.

**Conclusion.** Within the case when the viewpoint of tall execution is taken as the premise for the arrangement of the taken a toll of the whole life cycle of an aircraft, it is conceivable to realize an assistant result, communicated in progressing the characteristics of the aircraft for buyers, as well as a conditional diminish within the operational fetched of this aircraft.

**Key words:** aircraft engineering, optimization and minimization, aircraft design, design and operational characteristics, limit price, maximum allowable price, target cost, aircraft design, life cycle cost, efficiency criteria, cost breakdown structure.

**For citing:**

Gyazova M. M., Ermolaeva O. V. Analysis of optimization methods for creating an aircraft based on life cycle cost estimation // Organizer of production. 2021. Т. 29. № 2. P. 54-66. DOI: 10.36622/VSTU.2021.11.32.006.

### Введение

Так как предполагаемая стоимость изделия должна отражать интересы и удовлетворять потребности разных сторон, таких как производители и потребители, то в таком случае производителю важно возместить затраты с учетом будущей рентабельности, а потребителю - получить экономические или иные выгоды от в результате эксплуатации этого продукта. В данное время понимание и моделирование факторов, связанных с обучением рынка, экономической ситуации, маркетингом, риском и неопределенностью будущего проекта, позволяет конструкторам разрабатывать более экономичные концепции дизайна конструкций летательных аппаратов и их эксплуатационных характеристик. При использовании такого подхода факторы, определяющие стоимость, могут быть сформированы с учетом потребностей и требований для обеспечения конкурентоспособности продукта на рынке как внутреннем, так и международном. Добиться эффективной конкурентоспособности изделия на рынке позволяет метод снижения затрат.

В основе метода снижения затрат лежит анализ предельной граничной цены при создании внешнего или эскизного проекта самолета. На данный момент, как показывают практические исследования более 70 процентов (%) стоимости жизненного цикла самолета закладывается на стадии разработки его концепции [1]. Поэтому для дальнейшего снижения стоимости жизненного цикла и оптимизации проектно-эксплуатационных характеристик самолета необходимо провести анализ и расчёт пределов допустимой цены проекта на основе моделирования стоимости жизненного цикла проектируемого самолета на ранних этапах внешнего или предварительного проектирования. Представленная методология разработки кодирования и структурного разбиения затрат по каждому блоку проведения работ на этапах внешнего или эскизного проектирования самолета является инструментом для достижения рациональной оптимизации стоимости жизненного цикла изделия на ранних этапах создания.

### Теория

#### Составляющие стоимости жизненного цикла самолета

Технология оценки стоимости заключается в оценке первоначального размера капитала,

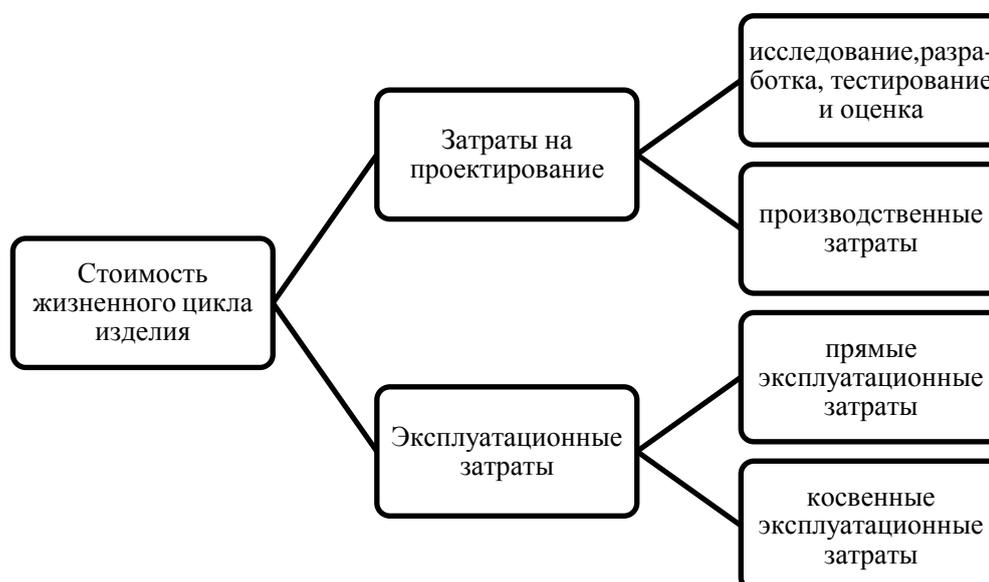
который может быть использован для дальнейшего финансирования инвестиций, и оценки операционных затрат, которые могут возникнуть в ходе управления проектом. Детальная калькуляция затрат является наиболее информативным подходом, который влечет за собой сбор всей информации о затратах, которая может быть напрямую отнесена к стоимости окончательного концептуального проекта самолета. Стоимость продукта должна быть уточнена или скорректирована с учетом изменений по ходу усложнения проекта разработки проекта изделия, технических и технологических особенностей и других факторов [2]. Своевременная фокусировка на уточненной предельной стоимости обеспечит практический подход к выбору изменений в конструкции самолета, таких как: изменения конструкции, материалов, производственного процесса и требований к нему. Стоимость жизненного цикла самолета — это общая стоимость, потраченная на самолет на протяжении всего жизненного цикла, от стадии создания до утилизации самолета. Данные затраты содержат необходимую сумму затрат, которые включают в себя в предварительные исследования, изучение рынка, изготовление изделия, аспекты его будущего использования, но не считая такого затраты в вступление провианта во внедрение, его предполагаемое использование, содействие сохранению работоспособного состояния, а также утилизацию сообразно окончанию времени отработки изделия. Вычисление затрат поэтапного стоимостного цикла проекта может базироваться на анализе данных в результате наблюдения за изменением параметров надежности проекта самолета, а также изменениях в переменных и косвенных затратах, включающих расходы на такие аспекты как: закупка вспомогательного оборудования, техническое обслуживание и ремонт, выплата сотрудникам и т.д.

Для получения выгоды в экономическом плане при создании первостепенных этапов разработки проекта самолета своевременное оценивание допустимой стоимости жизненного цикла с точки зрения затрат на каждом этапе разработки изделия позволяет отследить возможные существенные изменения внутри проекта, а также обосновать их необходимость.

Двумя основными компонентами СЖЦ являются приобретающие и эксплуатационные

покрытия [3]. Стоимость приобретения состоит из затрат на исследования, разработки, испыта-

ния и оценки, а также затрат на производство и в основном связана с производителем (рисунок 1).



Источник: составлено авторами на основе материалов [3]

Рис. 1. Схема составляющих элементов СЖЦИ

Fig. 1. Scheme LCC elements

Первый элемент СЖЦ связан с производителем и включает в себя: исследования, разработки, испытания и оценку, а также производственные затраты [4].

Второй элемент связан с потребителями и включает такие элементы, как: прямые эксплуатационные затраты и косвенные эксплуатационные затраты (рисунок 1). Стоимость в концептуальной модели СЖЦ может варьироваться: например, низкие затраты на приобретение могут быть связаны с низкими экономическими условиями или возможностью использования новых технологий в авиастроении [5]. Калькуляция допустимых затрат на этапах жизненного цикла самолета в долгосрочной многолетней перспективе позволяют отследить за изменениями в формировании конечной стоимости изделия. На основании результатов анализа изменений допустимой стоимости проекта предоставляется возможность селекции наиболее выгодной концепции проекта самолета из существующих, а также определение возможных доработок выбранной концепции [6].

#### Данные и методы

#### Критерии оценки экономической эффективности на этапах жизненного цикла самолета

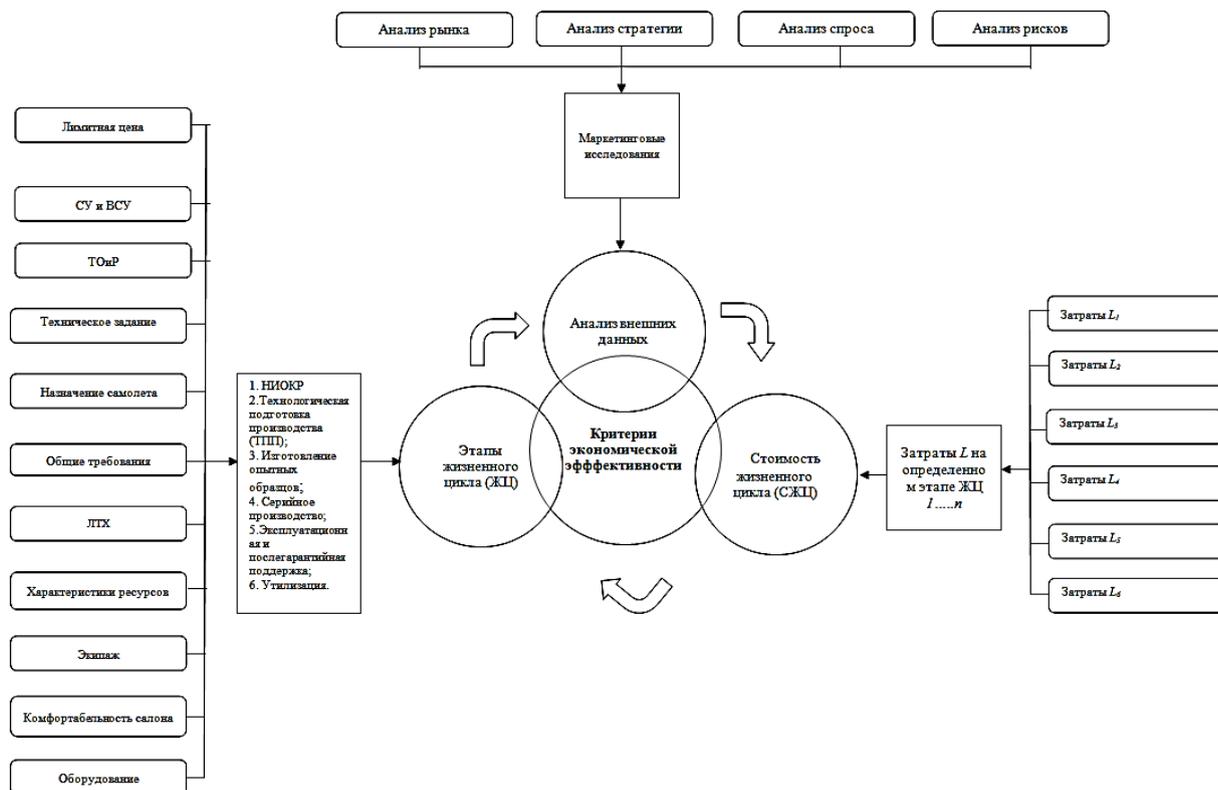
Жизненный цикл авиационной техники — это многоступенчатый сложный процесс, в котором можно выделить основные этапы:

1. НИОКР
2. Подготовка производства (на технологическом этапе);
3. Производство экспериментальной модели;
4. Серийное производство;
5. Эксплуатационная и послегарантийная поддержка;
6. Утилизация.

На схеме (рисунок 2) показана связь ключевых компонентов, являющихся составными частями процесса разработки самолета, представленная схема создана с учетом аспекта стоимости жизненного цикла самолета как базы для достижения эффективной результативности. Основываясь на ключевом аспекте стоимости жизненного цикла самолета в период создания конструкторской документации и технического задания на проект, разработчикам технической документации необходимо оптимизировать

проектно-эксплуатационные характеристики проекта самолета, так как их оптимизация подразумевает дальнейшее сокращение затрат на начальных этапах проектирования. Ранее порядок разработки технической и конструкторской документации определялся на основании Постановления Совета Министров СССР № 6301 от 10.08.1972 1972 «О дальнейшем совершенствовании порядка установления и применения цен на промышленную и сельскохозяйственную продукцию, а также тарифов на транспортные и другие услуги, оказываемые народному хозяйству и населению» [7], который использовался на начальных этапах проектирования. В настоящее время данное Постановление не используется как доказательная база для разработки конструкторской документации, однако российская ком-

пания ОАО РЖД разработала методику, которая позволяет на основании расчёта допустимой стоимости жизненного цикла продукции в дальнейшем определить затраты на использование новых технологий, благодаря которым наблюдается снижение эксплуатационных расходов продукта и закрепила в приказе от 27.12.2007 № 2459р. Таким образом для дальнейшего снижения стоимости жизненного цикла и оптимизации проектно-эксплуатационных характеристик самолета необходимо провести анализ и расчёт пределов допустимой цены проекта на основе моделирования стоимости жизненного цикла проектируемого самолета на ранних этапах внешнего или предварительного проектирования.



Источник: составлено авторами на основе материалов [9]

Рис. 2. Элементы схемы оптимизации проектирования АТ на начальных этапах на основании концепции стоимости жизненного цикла

Fig. 2. Elements of the AT design optimization scheme based on the life cycle cost

На стадии менеджмента внешнего проектирования может производиться прогностическое исследование динамики возможного спроса разрабатываемого изделия посредством изучения и рассмотрения концептуальных стратегий изделий и способностей производителей той же области на рынке. Основными задачами сбора данных на этапе маркетинговых исследований заключаются в оценке возможных рисков, поиске возможных проблем и разбор проблем на составляющие для составления стратегии их дальнейшего разрешения. Анализ и разбор внешних данных позволяют разработать наиболее ходовую концепцию проекта самолета, отвечающий требованиям внешних потребителей. В данном случае в качестве данных принимаются сведения о проектно-эксплуатационных характеристиках самолета в макроэкономическом плане, которые оказывают воздействие на прирост спроса на данную технику в рамках макро-рынка, в этот спектр входят сведения типа: инфляции, ставки дисконтирования как величина для понимания оценки успешности возможных инвестиций в проект, затраты на необходимые вспомогательные материалы, затраты на оплату трудовых ресурсов и т.д. На рисунке 2 в анализ внешних данных входят: анализ данных рынка, анализ данных спроса, анализ данных рисков, анализ данных стратегии на рынке авиатехники- все эти данные состоят из анализа темпов роста входят в комплексный анализ, который позволит определить возможный спрос на проектируемый самолет и его успешность на рынке[9]. Движения глобализационного процесса проявляются в двойственном эффекте по отношению к экономическому росту, на данный процесс могут влиять уровень экономического развития, изменение в валютном курсе, рост или спад инфляции, издержки на расходные материалы, котировка уровня дохода потенциальных потребителей и экономического состояния области, тарифы на ценные бумаги, активность макроэкономических агентов.

После окончания сбора информации для последующего анализа ее необходимо систематизировать и упорядочить, выделив группы с усредненным критерием, а также обозначить взаимосвязь между различными элементами подгрупп на разных этапах жизненного цикла, который представляет собой

сложную систему сгруппированных процессов в течение времени функционирования изделия [10]. Правильное своевременное прогнозирование позволит определить основные способы достижения поставленных задач проекта посредством повышения эффективности производственных, технических, оптимизационных и прочих процессов [11]. Своевременное прогнозирование позволит создать и скорректировать стратегическое соответствие между целями организации и ее потенциальными возможностями в реализации будущего проекта на ранних этапах. На базе полученной информации возможно представить схему прогнозирования с использованием математического выражения типа:

$$Ux \text{ при } x = 1, y = 1 \quad (1)$$

где  $x$  – вид деятельности, включенной в проект

$y$  – способы реализации деятельности, включенной в проект.

Аспект прогнозирования на основании проанализированной информационной базы данных является важным элементом в дальнейшем формировании допустимой стоимости жизненного цикла. Стоимость жизненного цикла состоит из суммы затрат на полный цикл владения товара включает в себя полные затраты на владение продуктом. В течение периода изменения его состояния не временной промежуток функционирования изделия определяет смысл жизненного цикла, а набор последовательно взаимосвязанных процессов, которые отражают изменения в состоянии изделия. Рассматривая производство самолета как разработку изделия конкретного типа, предполагаемые процессы изменения состояния изделия так же будут определяться типом изготавливаемой продукции. В том числе процессы реструктурирования состояния разрабатываемого изделия могут пересекаться на стадиях жизненного цикла, например, процессы этапа эксплуатации самолета может пересечься со стадией ТОиР [12].

Выразить в математическом общем виде стоимость жизненного цикла можно по формуле:

$$Z_{жц} = \sum_{d=1}^{A_n} \sum_{s=1}^{B_n} (L)s^r * (J)d^p \rightarrow \min \quad (2)$$

где  $s$  - этап ЖЦ;

$d$  - календарный год в рамках ЖЦ;

$A_n$  - общая продолжительность ЖЦ;

$B_m$  - количество этапов ЖЦ;

$L^r$  - затраты на  $s$ -м этапе ЖЦ в определенный год ( $d$ );

$J^p$  - дифференцированный по календарным годам ЖЦ коэффициент дисконтирования.

В данной формуле сумма затрат отражается за один календарный год цикла продукции, в течение которого реализуются все необходимые процессы реструктурирования состояния изделия начиная от начальной стадии определения параметров технического задания и составления аванпроекта. Также в формуле учитывается общая продолжительность и количество включенных в жизненный цикл этапов, при этом величина  $s$  характеризует величину определенного рассматриваемого этапа. Сумма затрат на каждом этапе характеризуются затратами на набор необходимых к выполнению работ. Для оптимизации проектно-эксплуатационных характеристик на начальных этапах формирования технического задания на самолет необходимо определить основные затраты на каждом этапе, которые неразрывно связаны с затратами на выполнение работ в течение одного календарного года. Так как изменения состояния изделия имеют циклический характер, в случае, если объем выполненных работ идентифицирован на начальных этапах формирования проекта, расчёт последующих суммарных затрат и возможность составления точного прогнозирования успешного оптимизирования этих затрат позволит увеличить процент результативной реализации проекта [13]. Для достижения выше поставленных условий необходимо представить набор затрат на каждом этапе жизненного цикла, обусловленные последовательностью работ, структурировать и разбить на подгруппы для более простого и эффективного взаимодействия с полученной базой данных.

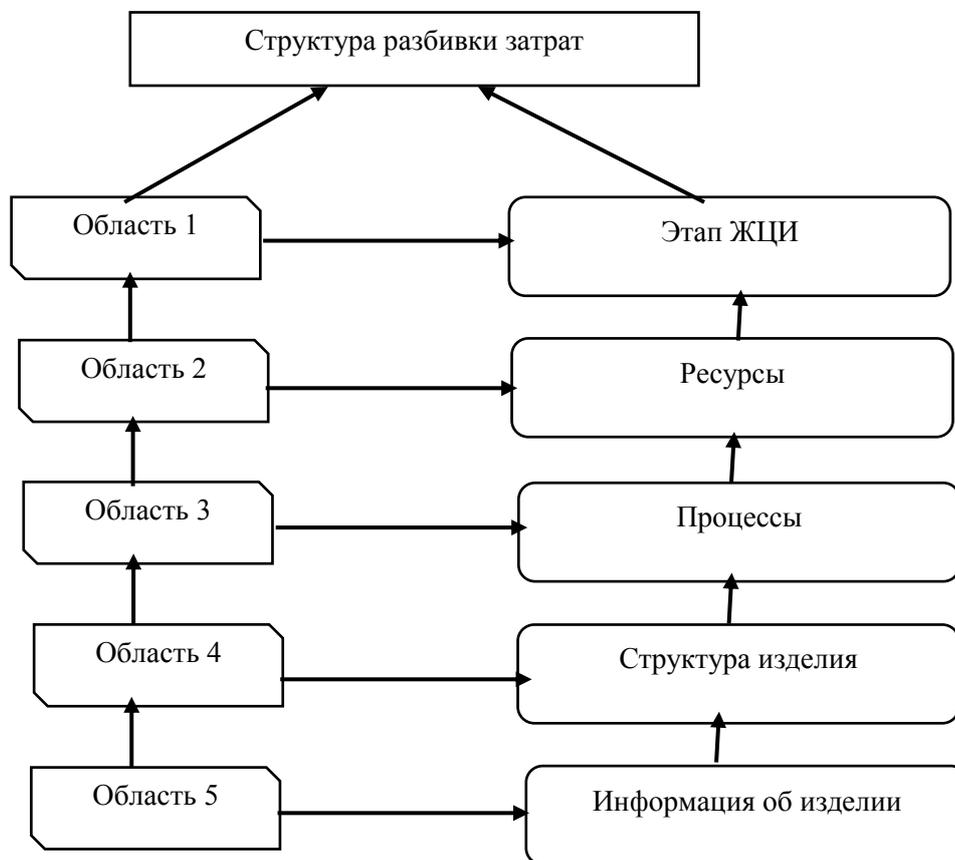
### Методика кодирования структуры разбивки

С целью установления и прогнозирования суммарных затрат и работ на основании определенных стадиях жизненного цикла самолета необходимо представить полную базу данных о

затратах, которую возможно выразить наглядно и схематично в течение временного периода функционирования изделия. Методика структурной разбивки затрат, которая неразрывно связана с набором обязательных к выполнению работ позволит составить полную и детальную базу данных по затратам. Так как разработка авиационной техники-это сложный и многоступенчатый процесс, он может содержать в себе множество сложносоставных работ, на которые приходится та или иная часть общих суммарных затрат. Для облегчения наполнения структуры разбивки затрат в данной методике представлен концептуальный способ кодирования, который может быть адаптирован под уже имеющийся код или структуры, используемый организацией, которая будет использовать кодированную структуру разбивки затрат для дальнейшей оптимизации проектно-эксплуатационных характеристик своего проекта для снижения его общей стоимости. Далее в таблицах представлено описание технологии создания кодированной структуры разбивки затрат (КСРЗ). Так как представленная методика разработки кодированной структуры является концептуальной, то единичные эпизоды использования данной технологии разработки кодированной структуры затрат может быть унифицирована в соответствии с параметрами системы организации и ПО. Составляющие части расходов могут базироваться на основании документов, включающие в себя сведения о стадии жизненного цикла, процессов на каждой определенной стадии, временной период длительности стадий, необходимые для реализации процессов человеческих и иных ресурсов, определение типа расходов на стадиях, в которые входят прямые и косвенные затраты, которые в свою очередь так же делятся на фиксированные и переменные. Скомпонованные типовые ведения и характеристики формируются в базу данных, внутри которой сведения ранжируются по группам и подгруппам, каждой из которых присваивается унифицированный код. Идентификация единообразными кодами позволит наглядно представить общую схему расходов, а также обеспечить более быстрое и простое использование сведений по запрашиваемому параметру. Структура разбивки затрат позволяет зонировать и разбивать на составляющие сведения о расходах не только процессы на определенном этапе жизненного цикла, но и затраты на эксплуатацию

определенных материалов и прочих ресурсов, а также подобная методика позволяет дробить сложную техническую информацию на подгруппы для оптимизации ее использования и

ориентации в сведениях (характеристики технического задания или параметры аванпроекта, к примеру рис. 3).



Источник: составлено авторами на основе материалов [8]

Рис. 3. Элементы структуры разбивки затрат

Fig. 3. Elements of the cost breakdown structure

Составляющие сведения образуют сумму затрат на каждом этапе жизненного цикла разрабатываемого проекта в определенной области, а также отражают взаимосвязь между подгруппами сведений и связь определенных областей друг с другом. Код состоит из кодовых подгрупп, также, как и база данных делится на подсистемы. Код отражает область и сведения данной области, которые в свою очередь могут подразделяться на подсистемы. Определённая группа расходов области выделяется по определенным несовместимым с другими группам характеристикам, образуя уникальную группу затрат. В зависимости от рассматриваемой области проекта коду присваивается первая цифра в соответствии с номером области, к примеру,

Область  $n$ , где  $n=1$  дает первую цифру кода, отражающего область 1 (таблица 1), при необходимости разбивки сложных систем на подэлементы. Для разбивки кодов, которые отражают элементы подгрупп используются точки, это позволяет наглядно представить разделение элементов исследуемой области. Ненулевая цифра, отделяемая точкой, указывает на уровень данного элемента, если код заканчивается нулем, это свидетельствует о том, что данный элемент может быть разбит на подэлементы. К примеру, в таблице 1 код 1 обозначает элемент первого уровня; который лежит в области 1, этот элемент конечный им не подлежит дальнейшему распространению, напротив код 3.n.0, где  $n$ -номер подуровня элемента, свиде-

тельствует о том, что данный элемент не является конечным и подразумевает дальнейшую разбивку на подэлементы. После окончания компоновки элементов по структуре разбивки

затрат, закодированный элемент будет содержать закодированные подструктуры для каждой области проекта.

Таблица 1

Структура разбивки Breakdown structure	
Область 1	1
Область 2	2.n.1
Область 3	3.n.0
Область 4	4.n.n
Область 5	5.n.n.0

Источник: составлено авторами на основе материалов [9,13]

1) В случае, когда элемент подразумевает в своем составе несколько элементов, содержащих отличные характеристики, которые не представляется возможным объединить одной группой, код заканчивается нулевым значением. Ноль указывает на дальнейшее распространение элемента на подэлементы до удовлетворительного результата. Элементы, не требующие дальнейшего подразделения, обозначаются как:  $1.1, 1.2, \dots, 1.n$ . К примеру, в таблице 2 элемент *Области B<sub>2</sub>* не предполагает дальнейшего разложения на подэлементы, так как его код записан в виде  $2.n$  и не оканчивается нулевым значением, в то время как в *Области D<sub>4</sub>* записан как  $4.0$ , что предполагает дальнейшее подразделение элемента на составляющие части –  $4.1$ . и подэлемент  $4.2, 4.3.0$  ит.д.

2) Все распределенные подэлементы формируют собой общую сумму, которую можно представить в виде:  $(k+1) = k.0$ , указывая на уникальность первых элементов  $k$ , составляющих код для каждой области. В итоге (*дробных элементов (k+1)*) = (*элементу распределения (k.0)*). К примеру, сумма подэлементов второго уровня  $1.1, 1.2, \dots, 1.n$

должна равняться элементу  $1.0$ .

3) Код, содержащий ненулевые составляющие, обозначает, что дальнейшей разбивки элемента на подэлементы не требуется или же на данном этапе разбивка не определена, в таком случае в код возможно внести коррективы после определения необходимости дальнейшего распространения элемента.

В качестве наглядного примера принципа кодирования представлена закодированная структура разбивки корпуса самолета (Таблица 2) для упрощения и наглядности при разработке технического задания на начальном этапе проектирования изделия. В таблице 2 рассматривается несколько областей, входящих в этап проектирования проекта. Однако, аналогичную структуру возможно разработать по другим областям, например, на этапе производства конструкции самолета на основании структурной таблицы 2 возможно разработать структурную разбивку процессов изготовления каждой детали, включенной в спецификацию проекта. Далее на основании структуры разбивки процессов возможно определить необходимые для их реализации ресурсы.

Таблица 2

Структура разбивки корпуса самолета Breakdown structure of aircraft body			
Проект	Область	Код	Содержание
P <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	1.0	Корпус самолета
	A <sub>1</sub>	1.1.0	Каркас
	A <sub>1</sub>	1.1.1.0	Фюзеляж

A <sub>1</sub>	1.1.1.1	Передняя часть фюзеляжа
A <sub>1</sub>	1.1.1.2	Центральная часть фюзеляжа
A <sub>1</sub>	1.1.1.3	Хвостовая часть фюзеляжа
A <sub>1</sub>	1.1.1.4	Пол
A <sub>1</sub>	1.1.1.5	Фонарь
A <sub>1</sub>	1.1.1.6	Обтекатель
A <sub>1</sub>	1.1.1.7.0	Хвостовое оперение
A <sub>1</sub>	1.1.1.7.1	Киль
A <sub>1</sub>	1.1.1.7.2	Стабилизатор
A <sub>1</sub>	1.1.1.8	Система аэродинамического торможения
A <sub>1</sub>	1.1.1.9	Воздухозаборные/воздухоприемные отверстия
A <sub>1</sub>	1.1.1.10	Выхлопные трубы
A <sub>1</sub>	1.1.1.11	Узлы крепления двигателя
A <sub>1</sub>	1.1.1.12	Прочие узлы крепления, и агрегаты подвески
A <sub>2</sub>	1.2	Крыло
A <sub>3</sub>	1.3.0	Шасси
A <sub>3</sub>	1.3.1.0	Стойка
A <sub>3</sub>	1.1.3.1	Траверса
A <sub>3</sub>	1.1.3.2	Механизм ориентации стойки
A <sub>3</sub>	1.1.3.3	Замки фиксации
A <sub>3</sub>	1.1.3.4	Узлы основания стойки
A <sub>3</sub>	1.3.2	Амортизатор
A <sub>3</sub>	1.3.3	Колесо
A <sub>3</sub>	1.3.4	Механизм выпуска шасси
A <sub>3</sub>	1.3.5	Подкосы
A <sub>4</sub>	1.4	Обтекатели/пилоны
A <sub>5</sub>	1.5	Двери
A <sub>6</sub>	1.6	Динамические системы и компоненты
A <sub>7</sub>	1.7	Оборудование
B <sub>2</sub>	2	Силовая установка
C <sub>3</sub>	3	Прикладное программное обеспечение (ПО)
D <sub>4</sub>	4.0	ПО системы
D <sub>4</sub>	4.1	Система связи/идентификации
D <sub>4</sub>	4.2	Система навигации/управления
D <sub>4</sub>	4.3.0	Центральная ЭВМ
D <sub>4</sub>	4.3.1	Система отображения данных и органы управления
D <sub>4</sub>	4.3.2	Система пилотирования в автоматическом режиме
D <sub>4</sub>	4.3.3	Комплексная центральная контрольно-измерительная система
E <sub>5</sub>	5	Топливо

Источник: составлено авторами на основе материалов [9,13]

В качестве примера рассматривается проект  $P_1$  и одни из нескольких областей, входящих в данный проект, соответствующие начальным этапам проектирования – определение структуры самолета и формирование спецификации. В данном примере на этапе формирования специ-

фикации проектируемого самолета выделено пять основных областей, внутри которых выделены главные элементы и их подэлементы, в случае необходимости их деления. В таблице 2 элемент 1.0 – является суммой подэлементов 1.1.0, 1.2, 1.3.0, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, два элемента из

которых подлежат разбивке. Элемент 1.1.0 состоит из подэлементов 1.1.1.1-1.1.1.12, при этом входящий в эту совокупность элемент 1.1.1.7.0 заканчивается нулем и предполагает дальнейшую разбивку минимум на два подэлемента и включает в себя два элемента пятого уровня 1.1.1.7.1 и 1.1.1.7.2. Таким образом хвостовое оперение включает в данном случае в себя стабилизатор и киль. Так же элемент 1.3.0 (Шасси) состоит из ряда подэлементов 1.3.1.0-1.3.1.5 один из данных подэлементов 1.3.1.0 (стойка шасси) в свою очередь подразделяется на элементы четвертого уровня 1.1.3.1, 1.1.3.2, 1.1.3.3, 1.1.3.4 – траверса, механизм ориентации стойки шасси, замки фиксации, узлы основания стойки. Некоторые элементы областей не заканчиваются нулевым значением, что подразумевает их завершенность, к примеру элементы 2,3,5 Таблицы 2, где обтекатели/пилон и двери не делятся на подэлементы общей системы. Подобная структура разбивки позволяет наглядно представить необходимый набор деталей спецификации на конструкцию самолета в дальнейшем на основании данной кодированной структуры будет возможно составить кодированную структуру

разбивки затрат и работ, которые позволят отразить все необходимые ресурсы, процессы и расходы на каждой стадии разработки проекта на начальном этапе проектирования

### Взаимосвязь структурной разбивки затрат и работ

На основании полученных данных из кодированной структуры разбивки затрат становится возможным составление плана (прогноза) работ, для оптимизации которого ниже представлено описание методики разработки кодированной структуры разбивки работ (КСРР). КСРР позволит наглядно представить взаимосвязь между предполагаемым планом работ и потребностями заказчика/потребителя, которые могут быть изложены в программе описаний работ или в функциональных спецификациях. В то время как кодированная структура разбиения затрат выделяет стоимость каждого элемента на каждом этапе ЖЦ, КСРР дифференцирует общий объем работ по всему проекту на стадиях ЖЦ на отдельные блоки, поддающиеся независимому управлению. Связь между структурой разбивки работ и структурой разбивки затрат представлена в таблице 3.

Таблица 3

Структура разбивки работ  
Work breakdown structure

Номер проекта	Стадия	Код задачи				
P <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	1.1.0	1.1.0	1.1.1.1	1.1.1.2	1.1.1.3
	A <sub>2</sub>	1.2.				
	A <sub>3</sub>	1.3.0	1.3.1.0	1.1.3.1	1.1.3.2	1.1.3.3
	B <sub>2</sub>	2				
	C <sub>3</sub>	3				
	D <sub>4</sub>	4.0	4.3.0	4.3.1	4.3.2	4.3.3
	E <sub>5</sub>	5				

Источник: составлено авторами на основе материалов [9,13]

Таким образом каждой работе присваивается код Z<sub>n</sub>,

– где Z (A,B,C...n) - определяет этап в области;

– n – определяет номер области (1,2,3...n).

– Общий код затрат состоит из трех частей:

$\Sigma$  (код проекта + код области + код планируемой задачи)

(код проекта + код области + код планируемой задачи) (3)

К примеру, если проекту присвоен код P<sub>n</sub> (Project 1,2,3...n), где допустим n=1, как в данном случае (таблица 3) становится очевидно, что все задачи ведутся в рамках одного проекта P<sub>1</sub>. Затраты данного проекта P<sub>1</sub> области A<sub>2</sub> (где этап области – A, номер области 2) по задаче будут иметь код P<sub>1</sub>A<sub>2</sub>1.2 Данная методика разработки кодированной структуры разбивки работ вариативна – кодированная система может быть расширена или сокращена в зависимости от требуемых проектом определенных показателей, в том числе возможно внедрение системы суще-

ствующих кодов заказчика в структуру, при наличии данных требований контракта.

### Полученные результаты

Представленная методика разработки КСРР позволяет проанализировать предстоящие затраты на основе необходимых ресурсов, используемых на каждом определенном этапе ЖЦ [14]. Связь между КСРР и КСРЗ определена в ячейке пересечения столбца с номером необходимой задачи и области ее выполнения. К примеру, код  $P_1A_21.2$  показывает, что задача, выполняемая в рамках проекта  $P_1$  области  $A_2$ , является конечной и не подлежит дополнительной разбивке. Напротив, код  $P_1A_31.3.0$  указывает на то, что задача, лежащая области  $A_3$  в рамках того же проекта  $P_1$ , предполагает разбивку на подэлементы, подразумевающие необходимость в использовании дополнительных работ или ресурсов по данной задаче. Возвращаясь к примеру, из таблицы 3, в котором представлена закодированная структура разбивки затрат корпуса самолета, по коду  $P_1A_31.3.0$  можно определить, что система шасси (задача области  $A_3$ ) самолета (проекта  $P_1$ ) делится на подэлементы 1.3.1.0-1.3.5 – стойка, амортизатор, колесо, механизм выпуска шасси, подкосы соответственно. Необходимые ресурсы для проведения работ в течение всего проектного цикла должны непрерывно актуализироваться, вне зависимости от их изначального поступления в систему (извне или изнутри) [15]. Подобная методология разработки КСРР позволит наглядно представить объем необходимых работ для реализации задачи на определенном этапе ЖЦ, а также составить план (прогноз) необходимого объема ресурсов, требуемых для эффективной организации выполнения работ.

### Заключение

На базе рассмотрения снижения стоимости жизненного цикла, посредством оптимизации проектно-эксплуатационных характеристик проекта самолета была представлена методика разработки кодированной структуры разбивки затрат (КСРЗ) и кодированной структуры разбивки работ (КСРР). Представленная методология позволяет разработать универсальную структуру, подходящую для использования в любом авиационном проекте, для оптимизации основных проектно-эксплуатационных характеристик при разработке требований технического задания самолета на основе концепции стоимости жизненного цикла. Подобные универсальные структуры КСРЗ и КСРР позволяют наглядно в упрощенном виде отобразить не только меро-

приятия, затраты на всех этапах жизненного цикла самолета, но и определить объем работ и требуемых ресурсов, для их выполнения.

### Библиографический список

1. Leland NM, Fundamentals of Aircraft Design. California, 1975.С.883.
2. Lamar UE The role of preliminary design in reducing the cost of development, production and operation of aircraft systems. Airplane Design Integration and Optimization. Article 1, 1973.С. 267.
3. Marx W.J. Hierarchical model of the analysis of the cost of life of the air cycle / Marx W.J. Mavris D. N, Shrage D. P. Atlanta, 2000.С.18.
4. Weijun Zhu. Design and Evaluation of Fully Configured Models Built by Additive Manufacturing, Weijun Zhu,Xinglei Zhao,Wei Zhang,Ke Ren,Zhengyu Zhang,Dichen Li, //Aerospace research central, 2014.С.23.
5. Eddie, D. G. Airframe Cost Estimation Relationships in the Design and Production Phases/ NASA, 1980.С.132.
6. Beltramo, Michael N, Michael A. The Application of Parametric Weight. Cost Estimates for Future Transport Aircraft, 1979.С.48.
7. 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/ Постановление Совета Министров СССР от 10.08.1972, № 630.С.80.
8. Методика определения стоимости жизненного цикла и лимитной цены подвижного состава и сложных технических систем железнодорожного транспорта/ Распоряжение ОАО РЖД от 27.12.2007.С.62.
9. Фридлянд А.А, Гязова М.М, Карапетян А.Г. Оптимизация основных требований технического задания и проектных и эксплуатационных характеристик воздушного на основе концепции стоимости жизненного цикла / Научный вестник ГосНИИГА, Москва, 2018.С.126.
10. Пухов. А.А,Конструкция и Проектирование Летательных Аппаратов /Российский государственный технологический университет им. К.Э. Циолковского (МАТИ),2014.С.257.
11. Шестопап Ю.Т. Стратегический менеджмент: учебное пособие/ Шестопап Ю.Т,

Дорофеев В.А, Дресвянников, Н.Ю. Щетинина, А.Н. Шмелева / КНОРУС, 2016. С. 310.

12. Берновский Ю.Н. Основы идентификации продукции и документов, ЮНИТИ-ДАНА, 2007.С.351.

13. Фридлянд А.А, Горелов Б.А, Гязова М.М. Оценка стоимости жизненного цикла на стадиях внешнего и рабочего проектирования

авиационной техники/ Российский экономический интернет-журнал, Москва, 2018.С.42-45.

14. Арская.Л.П. Японские секреты управления / Универсум, Москва, 1991.С.120

15. Структура разбиения работ. Энциклопедия по экономике, режим доступа <https://economy.ru/info/info/58861/> (дата обращения 3.03.2021)

Поступила в редакцию – 16 мая 2021 г.

Принята в печать – 23 мая 2021 г.

### Bibliography

1. Leland, NM, Fundamentals of Aircraft Design. California, 1975, p. 883.
2. Lamar UE The role of preliminary design in reducing the cost of development, production and operation of aircraft systems. Airplane Design Integration and Optimization. Article 1, 1973, p. 267.
3. Marx W.J. Hierarchical model of the analysis of the cost of life of the air cycle / Marx W.J. Mavris D. N, Shrage D. P. Atlanta, 2000, p. 18.
4. Weijun Zhu. Design and Evaluation of Fully Configured Models Built by Additive Manufacturing, Weijun Zhu, Xinglei Zhao, Wei Zhang, Ke Ren, Zhengyu Zhang, Dichen Li, // Aerospace research central, 2014, p. 23.
5. Eddie, D. G. Airframe Cost Estimation Relationships in the Design and Production Phases, NASA, 1980, p. 132.
6. Beltramo, Michael N, Michael A. The Application of Parametric Weight. Cost Estimates for Future Transport Aircraft, 1979, p. 48.
7. 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 the population: Resolution of the Council of Ministers of the USSR of 08/10/1972, No. 630. p.80.
8. 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 order of JSC Russian Railways dated December 27, 2007, p. 62.
9. Fridlyand A.A., Gyazova M.M., Karapetyan A.G. Optimization of the basic requirements of technical specifications and design and operational characteristics of airborne air based on the concept of life cycle cost, Scientific Bulletin of GosNIIGA, Moscow, 2018, p. 126.
10. Pooch. A.A. Design and Design of Aircraft (textbook), Russian State Technological University named after K.E. Tsiolkovsky (MATI), p. 257.
11. Shestopal Yu.T., Dorofeev V.A., Dresvyannikov, N.Yu. Shchetinina, A.N. Shmeleva Strategic management: textbook, KNORUS, 2016.P. 310.
12. Bernovsky Yu.N. Fundamentals of identification of products and documents (tutorial), UNITI-DANA, 2007, p. 351.
13. Fridlyand A.A., Gorelov B.A., Gyazova M.M. Life Cycle Cost Assessment at the Stages of External and Detailed Design of Aviation Equipment, Russian Economic Internet Journal, Moscow, 2018, p. 42-45.
14. Arskaya.L.P. Japanese Management Secrets, Universum, Moscow, 1991, p. 120.
15. Work breakdown structure. Encyclopedia of Economics, access mode <https://economy.ru/info/info/58861/> (date of access 3.03.2021)

Received – 16 May 2021

Accepted for publication – 23 May 2021