

# МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СТОИМОСТИ РАЗРАБОТКИ БЕСПИЛОТНОГО ВОЗДУШНОГО СУДНА

Сафоклов Б.Б., Серебрянский С.А.

Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет),  
Москва, Россия

safoklovbb@mail.ru, s-s-alex@mail.ru

*Аннотация.* Оценка стоимости разработки авиационной техники, представляет собой сложный многоэтапный процесс, включающий широкий спектр факторов. В настоящей работе представлена структурированная методика оценки стоимости разработки с учетом стоимостных показателей на различных этапах жизненного цикла. Каждый этап требует детальной проработки проекта с учетом особенностей конструкции и требований заказчика.

*Ключевые слова:* методика оценки, жизненный цикл, воздушное судно, эскизный проект, технический проект, конструкция, испытания, стоимость.

## Введение

Оценка стоимости этапов жизненного цикла воздушного судна (ВС) основывается на построении экономической модели, описывающей процессы его функционирования. Подобные модели позволяют установить взаимосвязь и пропорции затрат между различными фазами жизненного цикла изделия. В основу методологии положен принцип агрегирования, согласно которому полная стоимость жизненного цикла (ПСЖЦ) летательного аппарата представляет собой сумму затрат всех его стадий [1, 2].

Объектом настоящего исследования в рамках системы жизненного цикла беспилотного воздушного судна (БВС) является этап разработки. В структуре жизненного цикла БВС данный этап включает две последовательные стадии [3]:

Стадия предварительного проектирования, включающая формирование общей концепции, оценку области применения и анализ потенциального рынка сбыта [4].

Стадия опытно-конструкторских работ (ОКР), охватывающая детальное проектирование, изготовление опытных образцов и процедуру сертификации [5].

Укрупненная структура этапа разработки представлена на рисунке 1.

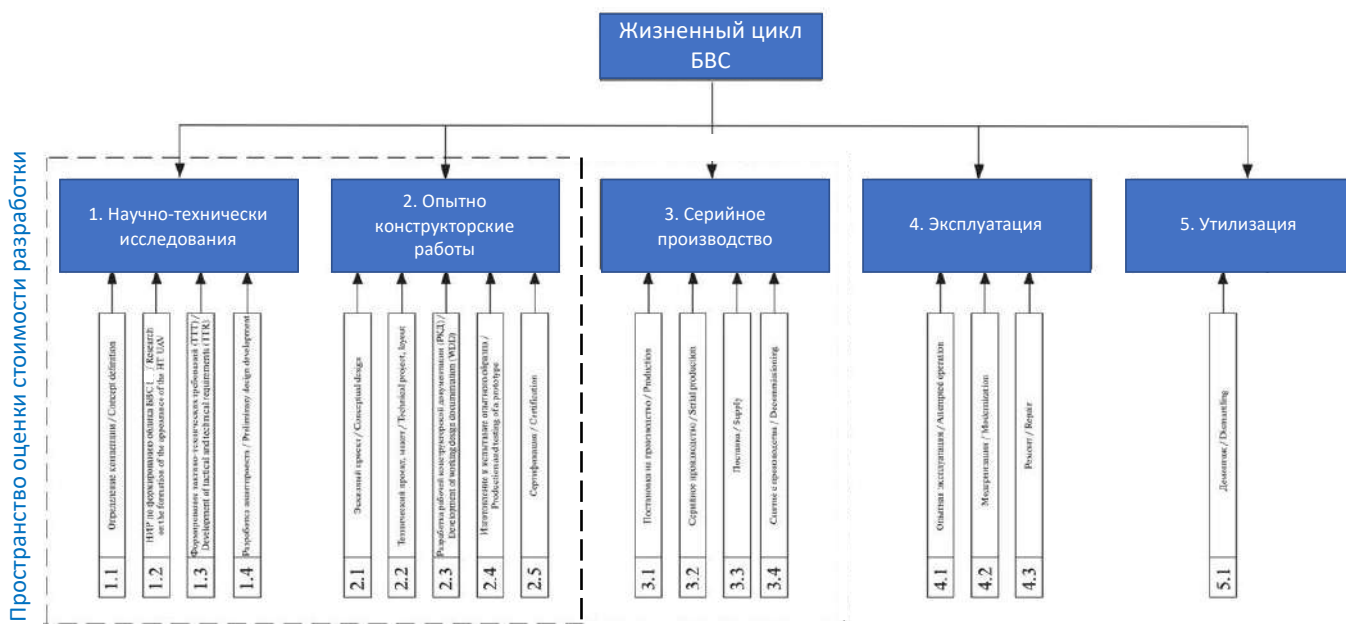


Рис. 1. Структура жизненного цикла БВС

## 1. Оценки стоимости разработки

Рассмотрим подробнее пространство методики оценки стоимости разработки.

Совокупные затраты на разработку беспилотного воздушного судна (БВС) калькулируются как сумма стоимостей научно-исследовательских (НИР) и опытно-конструкторских работ (ОКР) [6]:

$$C_p = C_{\text{НИР}} + C_{\text{ОКР}}, \quad (1)$$

где  $C_{\text{НИР}}$  – затраты на проведение научно-исследовательских работ (предпроектные этапы);  $C_{\text{ОКР}}$  – затраты на проведение опытно-конструкторских работ (этапы технического проектирования и реализации).

Исходные данные для расчета составляющих уравнения (1) базируются на регрессионных моделях, устанавливающих корреляцию между стоимостными и техническими параметрами изделий на основе отраслевых статистических данных [7]. Для построения методики необходимо учитывать, как пример для удобства будем ориентироваться на универсальную классификацию БВС по весу [8-10] (таблица 1) относительно тактико-технических характеристик и области применения БВС.

Таблица 1. Классификация БВС по весу

Класс	Наименование / международное обозначение	Взлётная масса, кг	Радиус действия, км	Практический потолок, м
Малые	Нано / η	<0,025	<1	100
	Микро / μ	<5	<10	3000
	Мини / mini	<25	10...70	3000
Лёгкие	Ближнего действия класса 1	25...50	25...40	3000
	Ближнего действия класса 2	50...150	50...100	3000
Средние	Малой дальности / SR	≤200	≤150	4000
	Средней дальности / MR	≤500	200	5000
	Средней дальности с большой продолжительностью полёта / MRE	500	500	8000
	Маловысотный большой дальности / LADR	≥250	>250	≤4000
Тяжёлые	Маловысотный большой продолжительностью полёта / LALE	≥250	≥250	4000
	Средне высотный большой продолжительностью полёта / MALE	≥1000	>1000	8000
	Высотный большой продолжительностью полёта / HALE	≥2500	>4000	20000

Исходя из представленных классификационных параметров БВС при систематизации финансовых аспектов выполнения ОКР возможно обеспечить универсальность калькуляции расходов и вышесказанное значение  $C_{\text{НИР}}$  (1) можно принять как:

$$C_{\text{НИР}} = C_{\text{ОКР}} \cdot k_{\text{НИР}}. \quad (2)$$

В результате чего уравнение (1) примет вид:

$$C_p = C_{\text{ОКР}}(1 + k_{\text{НИР}}), \quad (3)$$

где  $C_{\text{ОКР}}$  – стоимость (полная) выполнения ОКР;  $k_{\text{НИР}}$  – удельный вес затрат ресурсов на выполнение НИР (аванпроекта) ( $k_{\text{НИР}} = 0,04 \dots 0,15$ );  $C_{\text{НИР}}$  – затраты (планируемая стоимость);  $C_{\text{ОКР}}$  – затраты (планируемая стоимость).

Исходные значения затрат определяются на основании сложившихся статистических данных. Для удобства расчётов применяется классификация БВС по массе и тактико-техническим характеристикам.

Полная сумма затрат на опытно-конструкторские работы в ходе разработки беспилотного воздушного судна может быть представлена в виде комплексной зависимости [11]:

$$C_{\text{ОКР}} = C_{\text{мат}} + C_{\text{тр}} + C_{\text{доп}} + C_{\text{контр}}, \quad (4)$$

где  $C_{\text{мат}}$  – расходы на материалы, включающие стоимость сырья и комплектующих изделий, а также стоимость специализированного оборудования;  $C_{\text{зп}}$  – фонд оплаты труда, который учитывает

заработную плату персонала, включая социальные и другие отчисления (затраты);  $C_{доп}$  – издержки (затраты), которые охватывают административные управленческие и другие расходы.

## 2. Оценка ресурсов на разработку, с учетом классификации БВС

Учитывая существующее многообразие типов и классификаций БВС, а также вариативность их ресурсного обеспечения, предлагаемая методика не претендует на универсальность. Для повышения её общности необходимо введение поправочных коэффициентов, учитывающих сложность разработки, которая обусловлена конструктивными особенностями конкретного воздушного судна.

В рамках рассматриваемой модели жизненного цикла (рис. 1) и с учетом классификации БВС (табл. 1) для создания универсального подхода к оценке стоимости разработки предлагается использовать взвешенные удельные показатели стоимости основных составных частей БВС (рис. 2).

Общий ресурс на разработку БВС подлежит декомпозиции на следующие ключевые компоненты:

- ресурс на разработку полезной нагрузки (определяющей целевое назначение БВС);
- ресурс на разработку силовой установки;
- ресурс на разработку бортового оборудования и систем;
- ресурс на проектирование и интеграцию планера ЛА;
- ресурс на оценку эффективности реализуемых технических решений.

Величина каждого компонента является функцией от основных характеристик БВС, объёма испытаний и необходимых доработок. Например, стоимость конструкции коррелирует с взлётной массой и количеством испытательных циклов, стоимость силовой установки – с требуемой тягой и типом двигательной установки, а стоимость системы управления – с массой целевого оборудования, сложностью программного обеспечения и характеристиками наземного пункта управления.

Таким образом, в рамках данной методики совокупная стоимость разработки ( $C_P$ ) агрегируется из трёх укрупнённых составляющих:

$C_{PK}$  – стоимость разработки конструкции летательного аппарата и интеграции полезной нагрузки;

$C_{PD}$  – стоимость разработки силовой установки;

$C_{PCU}$  – стоимость разработки системы управления.

Формально это выражается следующей зависимостью:

$$C_P = C_{PK} + C_{PD} + C_{PCU}. \quad (5)$$

Таким образом, формируется понимание, что стоимость разработки БВС зависит от его технического облика (характеристик ЛА).



Рис. 2. Структура беспилотного воздушного судна

Более детальный анализ составляющих стоимости разработки БВС предполагает применение следующих подходов.

Для проектов, находящихся на начальной стадии, целесообразно использование вероятностных методов оценки, базирующихся на статистических данных по затратам на создание аналогичных прототипов. В рамках данного подхода рассчитываются математическое ожидание стоимости и её среднеквадратическое отклонение, что позволяет формализовать и учесть существующую неопределённость. Корректировка базовых оценок осуществляется с помощью коэффициентов сложности, значения которых определяются экспертным путём с учётом классификационных признаков и конструктивных особенностей конкретного БВС.

С учётом изложенного, стоимость разработки конструкции летательного аппарата  $C_{PK}$  может быть выражена следующей зависимостью:

$$C_{PK} = k_{PK} \cdot k_{ПК} \cdot k_{ИК} \cdot m_0, \quad (6)$$

где:

$m_0$  – базовая величина, определяющая стоимость разработки конструкции по взлетной массе БВС (далее, для удобства, базовым величинам присвоим термин «базы»),

$k_p, k_n, k_u$  – коэффициенты, учитывающие стоимость разработки, производства и испытания опытных образцов конструкции.

Стоимость разработки системы управления для БВС параметризуется несколько сложнее, учитывая несколько характеристик, определяющих ее базу, таких как принцип управления (заложенная программа или оператор) отсюда масса (габариты) оборудования БВС, защищенность и тип связи, и характеристики пункта управления БВС в зависимости от классификации БВС и решаемых задач [12, 13]. С учетом этого стоимость разработки системы управления представляет уравнение:

$$C_{PCY} = (k_0 \cdot M_0 + k_{ПО} \cdot C_{ПО} + k_{ПУ} \cdot C_{ПУ}) \cdot Q, \quad (7)$$

где  $M_0$  – масса (габариты) оборудования системы управления;  $C_{ПО}$  – стоимость разработки программного обеспечения;  $C_{ПУ}$  – стоимость разработки пункта управления;

$k_0$  – коэффициент сложности разработки бортового оборудования;

$k_{ПО}$  – коэффициент сложности разработки программного обеспечения;

$k_{ПУ}$  – коэффициент сложности разработки пункта управления;

$Q$  – объём производства опытных комплектов системы управления, необходимых для проведения наземных (стендовых) и лётных испытаний.

## 2.1. Методика расчета базовых значений стоимости разработки БВС

Представленные методы оценки стоимости можно принимать как «системные» которые, в логике, подходят для встраивания в систему стоимости жизненного цикла БВС, которая определяется как результат массового расчета и данных относительных статистических стоимостей, отдельно взятых частей летательного аппарата. [14, 15]

Учитывая многообразие классификации БВС по различным характеристикам, в том числе и весу (таблица 1), базовые значения для расчета стоимости разработки можно получить

на старте проекта, исходя из по тактико-технических характеристик БВС, подкрепленную знанием вероятностных значений стоимостей.

Предлагаемая методика расчёта математического ожидания и среднего квадратического отклонения полных затрат базируется на детальном анализе распределения затрат по этапам и годам разработки [16, 17].

Методика разделения стоимости разработки перспективной авиационной техники по годам предусматривает дифференциацию затрат с учётом текущих среднегодовых цен.

Оценка математического ожидания значения стоимости базовой величины СБВ на разработку БВС определяется по формуле,

$$C_{БВ} = \frac{C_{БВ}^{\max} + C_{БВ}^{\min}}{2}, \quad (8)$$

где  $C_p^{\min}$  – минимальное значение стоимости разработки БВС;  $C_p^{\max}$  – максимальное значение стоимости разработки БВС

Среднее квадратическое отклонение стоимостей  $\sigma_C$  определяется как:

$$\sigma_C = \sqrt{\frac{(C_{БВ}^{\max} - C_{БВ})^2 + (C_{БВ}^{\min} - C_{БВ})^2}{2}}. \quad (9)$$

Среднее квадратическое отклонение затрат  $\sigma_c$ , определяемое по формуле (9), необходимо как характеристика ошибки расчетов стоимости разработки БВС.

В уравнениях (8, 9) прогнозные минимальная и максимальная величины стоимостей разработки определены уравнениями:

$$C_{БВ}^{max} = C_p^{max} \cdot N, \quad (10)$$

$$C_{БВ}^{min} = C_p^{min} \cdot N, \quad (11)$$

где  $N$  – количество опытных изделий БВС, обеспечивающих потребности этапов разработки.

Определяется трудоемкость (ресурс) на разработку –  $T_{прот}$  и обобщенный коэффициент, условно  $k_{сл}$  – сложности разработки в зависимости от классификации БВС, как характеристика оценки разработки перспективного БВС относительно прототипа.

Соответственно трудоемкость разработки перспективного БВС –  $T_{персп}$ .

Общее уравнение примет вид:

$$T_{персп} = T_{прот} \cdot k_{сл}. \quad (12)$$

Коэффициент сложности  $k_{сл}$  предлагаем выбирать относительно прототипа экспертной группой, согласно уровню сложности разрабатываемого перспективного БВС с учетом классификаций (Таблица 2).

Таблица 2. Уровни сложности

Уровень сложности разработки	$k_{сл}$
Менее сложный	0,5
Аналогичный	1
Более сложный	1,5
Значительно более сложный	2

### 3. Заключение

Представленное предложение по методике оценки стоимости разработки БВС.

Предложенная методика обеспечивает системный подход к оценке стоимости разработки БВС, включая:

- декомпозицию затрат на НИР и ОКР;
- функциональное разбиение БВС на технические подсистемы;
- статистическую оценку стоимости на базе данных по аналогам и коэффициентов сложности.

Этот подход позволяет осуществлять обоснованное планирование и управление затратами на ранних стадиях, а также дополняет существующие методы, такие как покомпонентный анализ и распределение затрат по годам.

Предлагаемый метод предоставляет возможность решения двух ключевых задач: анализа номенклатуры научных проблем, исследуемых в рамках НИР, с учетом их значимости, сложности и степени влияния на последующие этапы разработки перспективных образцов авиационной техники, а также оценки стоимости выполняемых исследований с учетом как материальных, так и нематериальных ресурсов. Реализация данного подхода обеспечивает формирование комплексной оценки эффективности проводимых научно-исследовательских мероприятий.

### Литература

1. Серебрянский С.А., Парненко А.Е. Подход к формированию технического облика беспилотного воздушного судна // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2019. – Т. 19, № 3. – С. 43–52.
2. ГОСТ Р 55302–2018 Управление стоимостью жизненного цикла. Номенклатура показателей для оценивания стоимости жизненного цикла изделия. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2019.
3. Быков В.А., Парненко А.А., Парненко А.Е., Шариков А.В. Подход к формированию методики оценки стоимости жизненного цикла беспилотного воздушного судна вертолетного типа // Радиопромышленность. – 2020. – Т. 30, № 4. – С. 62–71.
4. Артеменко И.В., Олешко В.С., Самойленко В.М. О формировании стоимости разработки летательного аппарата // Научный вестник МГТУ ГА. – 2015. – № 218. – С. 142–148.
5. Serebryansky S., Shkurin M. Predictive Assessment of the Development of Unmanned Aviation System // Journal of Engineering Science and Technology Review. – 2022. – Vol. 15, № 6. – P. 149–154.

6. ГОСТ Р 59519-2021 Беспилотные авиационные системы. Компоненты беспилотных авиационных систем. Спецификация и общие технические требования М. Стандартинформ, 2021.
7. Акинин С.Н., Старожук Е.А. Методика формирования цены на НИОКР образцов вооружения // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2013. – Вып. 1. – С. 370–380.
8. Проектирование самолётов / под ред. М.А. Погосяна. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Инновационное машиностроение, 2021. – 864 с.
9. *Serebryansky S., Nastas K.* Configuration Management for Unmanned Aircraft Basic Systems at the Different Stages of Its Lifecycle // Proceedings of 2021 14th International Conference Management of Large-Scale System Development, MLSD 2021 : 14, Moscow, 27–29 сентября 2021 года. – Moscow, 2021.
10. ГОСТ Р 56122 — 2014 Воздушный транспорт. Беспилотные авиационные системы. Общие требования. Москва. Стандартинформ, 2020.
11. *Пелих Е.А., Титов Е.И.* Оценочный анализ экономических последствий внесения изменений в конструкции самолёта вследствие выявления недопустимых параметров на разных этапах проектирования // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2024): Труды Семнадцатой междунар. конф: – М.: ИПУ РАН, 2024. – С. 302–307.
12. *Быков В.А., Парненко А.Е.* Формирование облика беспилотного воздушного судна вертолетного типа с учетом посадки на сложнодвижущуюся платформу // Вопросы радиоэлектроники. – 2020. – № 3. – С. 47–53.
13. ГОСТ Р 59520-2021 Беспилотные авиационные системы. Функциональные свойства станции внешнего пилота. Москва. Стандартинформ, 2021.
14. *Serebryansky S., Safoklov B., Pochbneva I., Lepeshkin V.* Improving the Efficiency of Production Processes of Enterprises of the Aviation Industry // Conference “INTERAGROMASH 2021”. Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry, Volume 2: Conference proceedings, Ростов-на-Дону, 24–26 февраля 2021 года. – Ростов-на-Дону: Springer, 2022. – P. 1005–1019.
15. *Varsha N.* Conceptual design of high performance Unmanned Aerial Vehicle / N. Varsha, V. Somashekar // International Conference on Advances in Manufacturing, Materials and Energy Engineering, IConMMEE 2018. – Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 376, Iss. 1.
16. *Мышкин Л.В.* Прогнозирование развития авиационной техники / Л.В. Мышкин. – М.: Издат.дом «Наука», 2017. – 480 с.
17. *Панагушин В.П., Иванисов В.Ю.* Методы финансирования и ценообразования на опытно-конструкторские разработки авиационной техники оборонного назначения // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2015. – № 2. – С. 72–83. DOI:10.17747/2078-8886-2015-2-2.