

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАТРАТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕПОЧЕК АВИАЦИОННЫХ ПРОГРАММ

© 2018 Туркин Михаил Владимирович

кандидат технических наук

ПАО «Объединенная авиастроительная корпорация»

101000, Москва, Уланский пер., д. 22, стр.1

В данной работе предлагается новый подход к оценки затрат при реализации авиационных программ проводимый на прединвестиционной стадии позволяющий прогнозировать затраты на разработку, подготовку производства и производство. Отличительной особенностью данного подхода от методов прямого калькулирования является построение расчетов на основе статистических зависимостей и ключевых баз знаний. Представленную методологию целесообразно использовать для учета рисков и визуализации изменений точности оценок затрат на начальных стадиях реализации авиационных программ.

Ключевые слова: трудовые затраты, подготовка производства, инвестиционное планирование, материальные затраты, баланс мощностей.

Введение

Существующие на данный момент методологические подходы к оценкам затрат при реализации сложных программ в подавляющем большинстве основываются на методах прямого калькулирования требующих данных появляющихся только начиная со стадии технического проекта или стоимости проектов аналогов. Необходимо отметить, что наибольшее влияние на общие затраты при реализации авиационных программ оказывают решения принимаемые на более ранних стадиях таких, как аванпроект и эскизный проект [1, 2].

В свою очередь предлагаемая методология

оценки производственных затрат предназначена для оценки требуемых трудовых и материальных ресурсов, сроков, стоимости, рисков и реализуемости авиационных проектов и программ на всех стадиях их жизненного цикла (рис. 1).

Для стадии разработки рассчитываются затраты (трудоемкость и стоимость) непосредственно на проектирование, изготовление и испытания опытных образцов, на подготовку производства в части проектирования и изготовления специальной оснастки. Затраты на необходимое техническое перевооружение, закупку оборудования и строительно-монтажные работы не оцениваются, но могут быть включены

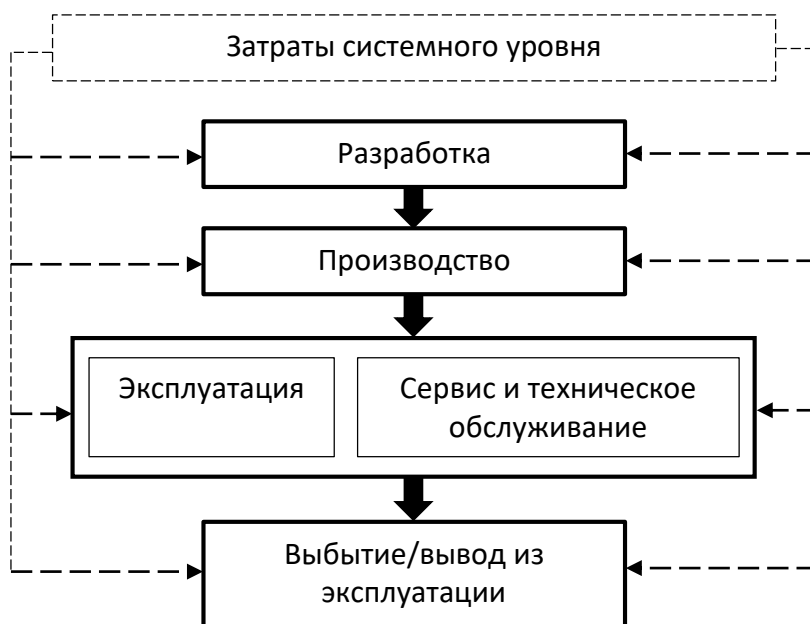


Рисунок 1. Функциональное назначение модуля оценки производственных затрат

ны в общую стоимость программы [3].

Для стадии производства рассчитываются затраты как основного производственного персонала, занятого изготовлением, сборкой и контролем, так и вспомогательного, занятого обеспечивающими работами (управление, наладка оборудования, ремонт оснастки, транспортировка и пр.). Кроме этого, оцениваются затраты на материалы и покупные изделия.

Для стадий эксплуатации и технического обслуживания оцениваются затраты на применение изделия по назначению, включая оплату труда обслуживающего персонала, затраты на расходные материалы, топливо, наземное оборудование; затраты на профилактику и ремонт изделия или его отдельных частей, включая оплату труда персонала, услуги сторонних организаций, запасные части, расходные материалы, затраты на доставку, управление складскими запасами, выведение из эксплуатации и пр.

Важной опцией методологии является оценка затрат на системном уровне. Суть её заключается в рассмотрении моделируемого изделия как системы, состоящей из отдельных подсистем (каждая подсистема может быть выделена из изделия физически). В частности, самолет может рассматриваться состоящим из подсистем «планер», «силовая установка», «топливная система», «БРЭО» и пр. Их интеграция (комплексирование) в единую систему требует дополнительных трудовых и материальных затрат, которые и оцениваются на системном уровне [4].

Наиболее эффективно данная методология применяется на ранних стадиях реализации авиационной программы, когда известны (определены) только основные характеристики будущего изделия. По мере развития программы (аванпроект → эскизный → технический → рабочий проект) увеличивается объем и точность фактической информации, соответственно, снижается значимость предварительных оценочных данных. На стадиях производства, эксплуатации, послепродажного обслуживания и ремонта может производиться «калибровка» параметров модуля ОПЗ по фактическим данным для повышения точности оценок будущих авиационных программ [5].

Принципы построения моделей

Данная методология и соответствующий комплекс моделей является предметно-ориентированными. Это означает, что в основе мо-

делирования (оценки) затрат лежит структура изделия, состоящего как из материальных (имеющих массу, объем и стоимость), так и из нематериальных (имеющих только стоимость) физических элементов. В то же время оценка затрат выполняется не только в отношении каждого физического элемента изделия, но и в отношении видов деятельности (*activities*), связанных с разработкой, изготовлением, эксплуатацией и обслуживанием изделий. Соответствующий переход выполняется за счет внутренних алгоритмов и баз знаний модуля [6].

В основе работы данной методологии лежат параметрические модели оценки трудовых затрат (T) вида:

$$T = f(M, CM, Q) \times (k_1, k_2 \dots k_n) \quad (1)$$

где M — масса элемента конструкции или изделия в целом;

CM — структура материалов элемента конструкции или изделия в целом;

Q — количество элементов, входящих в следующий верхний уровень структуры изделия;

$k_1, k_2 \dots k_n$ — параметры модели (поправочные коэффициенты).

Трудовые затраты определяются сначала по стадиям жизненного цикла, затем внутри стадий распределяются по отдельным видам деятельности и категориям работников через так называемые таблицы *Labor/Activity Allocation*. Переход к стоимостным оценкам выполняется путем умножения трудовых затрат на ставки заработной платы (учитываются отчисления в различные фонды и накладные расходы). Для материалов и покупных изделий их масса умножается на количество и стоимость единицы (за кг, за шт.).

В целом данная методология и соответствующий комплекс моделей позволяют оценить полные затраты жизненного цикла авиационной программы, разделенные на следующие категории:

- **Затраты на разработку (Development cost)** — трудовые и материальные затраты на проектирование изделия, постройку и испытания опытных экземпляров, проектирование и изготовление специальной оснастки, комплексирование и испытания систем, управление проектом, конфигурацией и данными изделия;

- **Затраты на производство (Production cost)** — затраты на материалы и покупные из-

деля, изготовление, сборку, испытания и контроль, профилактику и ремонт оснастки;

- **Эксплуатационные затраты (Operations cost)** — затраты на применение изделия по назначению, включая оплату труда обслуживающего персонала, затраты на расходные материалы, топливо, наземное оборудование и пр.;

- **Затраты на техническое обслуживание (Support cost)** — затраты на профилактику и ремонт изделия или его отдельных частей, включая оплату труда персонала, услуги сторонних организаций, запасные части, расходные материалы, затраты на доставку, управление складскими запасами, выведение из эксплуатации и пр.

Концептуальная схема функционирования комплекса моделей представлена на рис. 2. Входные данные делятся на две группы — данные, задаваемые пользователем и данные, берущиеся из баз знаний самого модуля. На выходе модуля формируется ряд отчетов и диаграмм, как заранее predetermined, так и формируемых непосредственно пользователем.

Важнейшей составляющей модуля ОПЗ являются базы знаний (*KBase*), разделенные на 6 категорий. Основное назначение баз — задание значений «по умолчанию» для большинства параметров элементов моделируемого изделия. Выбор баз и их подключение к элементам изделия в дереве входимости определяется целиком и полностью пользователем.

На ранних этапах реализации авиационной программы имеется значительная степень неопределенности величин исходных данных. Пользователь (аналитик) должен определить не

только наиболее вероятное значение, но и оценить возможный разброс значений вводимой величины. Для этого модуль позволяет задавать три значения каждого параметра — *Least* (минимальное возможное значение), *Likely* (наиболее вероятное значение) и *Most* (максимально возможное значение). Именно по такой схеме берутся значения «по умолчанию» из баз знаний. После этого модуль использует для дальнейших расчетов значение параметра, вычисленное по так называемой PERT-формуле (2).

$$PERT \text{ значение} = ((1 \times Least) + (4 \times Likely) + (1 \times Most)) / 6 \tag{2}$$

По мере продвижения проекта и детализации информации о проектируемом изделии разброс значений, как правило, уменьшается.

При вводе (редактировании) параметров элементов моделируемого изделия, в первую очередь массы (*weight*) и структуры материалов (*MATERIAL COMPOSITION*) целесообразно придерживаться следующей схемы:

а) получить наиболее правдоподобные (*Likely*) оценки значений параметров;

б) оценить возможные диапазоны изменения значений (отклонения в плюс и в минус могут быть неодинаковыми), крайние значения ввести в качестве величин *Least* и *Most*;

в) для контроля ввода целесообразно включить стандартный отчет *Parametric Bill of Materials Summary* и график *Unit Production Cost Sensitivity* (остальные отчеты и графики можно отключить). Отчет показывает *PERT значение* каждого параметра, которое будет использоваться модулем ОПЗ для дальнейших расчетов, график — диапазон возможного изменения значения параметра

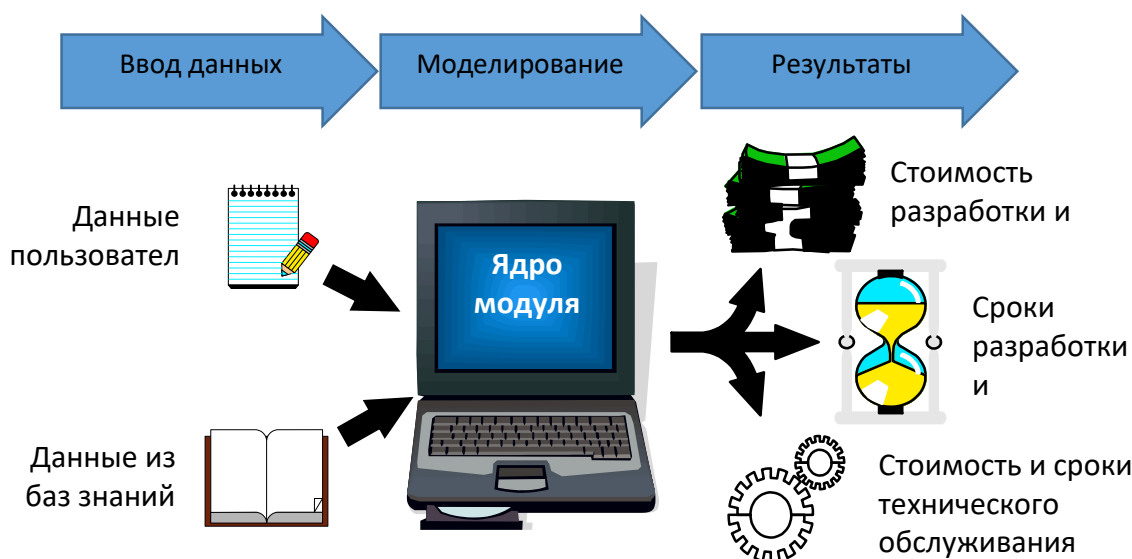


Рисунок 2. Концептуальная схема функционирования модуля оценки производственных затрат

Таблица 1.

<i>Mechanical/Structural</i>	Механический
<i>Electronics</i>	Электронный
<i>Rollup</i>	Суммарный элемент (узел)
<i>Site</i>	Площадка
<i>Addin</i>	Дополнительный элемент

и его влияние на итоговые оценки трудоемкости и стоимости.

Реализация моделей в программном комплексе

Для обеспечения возможности выполнения расчетов затрат вышеописанная методология была реализована в виде макета программного комплекса. Данный комплекс построен на платформенных принципах с возможностью подключения различных баз знаний.

Разбиение моделируемого изделия на конструктивные элементы зависит от целей расчета. Модуль ОПЗ не накладывает каких-либо жестких требований на структуру разбиения и на глубину декомпозиции.

Программное обеспечение рассчитает затраты на основе заданной информации по массе и структуре материалов в целом по всему самолету.

Подключение баз знаний производится одновременно с созданием каждого элемента дерева в соответствующей форме. Первым шагом является выбор типа элемента (*Element Type*) из списка представленного в Таблице 1.

Тип элемента *Mechanical/Structural* используется для механических компонентов, *Electronics* — для электронных блоков и систем. Если моделируемый элемент имеет как механические, так и электронные составляющие, для целей моделирования он должен быть разделен на две части. Тип элемента *Site* связан с местом проведения технического обслуживания. Тип элемента *Addin* используется для нематериальных, полностью определяемых пользователем элементов (имеющих только стоимость, но не имеющих массы и объема, например, для программного обеспечения, электронных моделей, расходов на командировки, летных испытаний и пр.). Для этого типа элемента нет подключаемых баз знаний, все его параметры полностью определяются пользователем.

Все базы знаний разделены на следующие 6 категорий:

- *Application* (Детализация типа элемента);

- *Platform* (Общая область применения);
- *O & S Description* (Эксплуатация и обслуживание);
- *Acquisition Category* (Характер создания);
- *Standard* (Уровень сертификационных требований);
- *Class* (Пользовательские базы знаний).

Применительно к изделиям авиационной техники для типа элемента *Mechanical/Structural* в категории *Application* (Детализация типа элемента) могут быть выбраны следующие базы знаний указанные в Таблице 2.

Результаты моделирования (расчетные данные) выводятся из модуля ОПЗ в виде отчетов и графиков. Графики являются предопределенными, их состав и графическая форма (круговые диаграммы, гистограммы и пр.) не могут быть изменены. Перечень стандартных отчетов также является предопределенным, однако пользователь может изменять их структуру, а также создавать собственные отчеты, используя большой набор выходных данных, сгруппированных в следующих категориях: затраты на разработку (проектирование, изготовление опытных экземпляров, проектирование испытаний, испытание систем, изготовление оснастки и стендов) и затраты на производство (изготовление компонентов, сборка изделия и агрегатов, вспомогательные работы, затраты на материалы, управление производством, ремонт и доработка оснастки).

Выводы

Предложенная методология и соответствующий комплекс моделей реализованных в программном обеспечении позволяет на ранних стадиях реализации авиационных программ когда известны (определены) только основные характеристики будущего изделия провести оценку структуры затрат для различных конфигураций и вариантов постановки данного изделия на производство. Данный подход может применяться не только в авиационной, но и производить оценку затрат для любых сложных высокотехнологичных систем (морских, на-

Таблица 2 – Структура баз знаний.

Общие базы знаний		
1	<i>Hydraulic, General</i>	Гидравлика и пневматика, общая
2	<i>Mechanical, General</i>	Механические элементы (статичные сборки из механически обработанных деталей), общая
3	<i>Mechanism, General</i>	Механизмы (сборки с взаимно подвижными элементами — редукторы, насосы и пр.), общая
4	<i>Primary Structural, General</i>	Главные структурные компоненты, несущие динамические нагрузки (крыло, фюзеляж и пр.), общая
5	<i>Secondary Structural, General</i>	Вторичные структурные компоненты, входящие в состав первичных (например, механизация крыла), общая
6	<i>Structural, General</i>	Неклассифицируемые структурные компоненты, общая
Специальные базы знаний		
7	<i>Active Thermal Control</i>	Компонент, обеспечивающий управление температурой (противообледенительная система, система кондиционирования воздуха и пр.)
8	<i>Adapter</i>	Кронштейн, стыковой элемент
9	<i>Aerodynamic Surface</i>	Аэродинамическая поверхность (например, крыло, обтекатель и пр.)
10	<i>Aircraft Interior</i>	Интерьер самолета
11	<i>Aircraft Stabilizer</i>	Стабилизатор, киль
12	<i>Antenna</i>	Антенна
13	<i>Auxiliary Power Unit</i>	Вспомогательная силовая установка
14	<i>Complex Assembly Of Purchased Parts</i>	Сложная сборка из ПКИ (более 20 деталей)
15	<i>Control Mechanism</i>	Механизм управления (например, привод закрылков, рулевая машина и пр.)
16	<i>Control Surface</i>	Управляющие элементы (рули, элероны и пр.)
17	<i>Fluid System</i>	Система подачи жидкости или газа (например, топливная система)
18	<i>Fuselage/Empennage</i>	Компоненты планера самолета, в основном металлические
19	<i>Fuselage/Empennage — CAP</i>	Компоненты планера самолета из ПКМ, автоматизированная выкладка, сборка путем совместного отверждения и с помощью механического крепежа
20	<i>Fuselage/Empennage — CHLU</i>	Компоненты планера самолета из ПКМ, ручная выкладка, сборка с помощью механического крепежа
21	<i>Harness</i>	Жгут (электрический)
22	<i>Helicopter Fuselage</i>	Фюзеляж вертолета
23	<i>Landing Gear</i>	Шасси самолета
24	<i>Nacelle</i>	Мотогондола
25	<i>Tankage</i>	Топливный бак
26	<i>Wing Section</i>	Секция крыла (может включать кессон, механизацию, системы и пр.), например, ОЧК
27	<i>Wing Structure, Primary</i>	Силовой набор крыла с обшивками, преимущественно металлический
28	<i>Wing Structure, Primary — CAP</i>	Силовой набор крыла с обшивками, преимущественно из ПКМ, автоматизированная выкладка, сборка путем совместного отверждения и с помощью механического крепежа
29	<i>Wing Structure, Secondary</i>	Вторичные структуры, кронштейны, расположенные внутри крыла для крепления механизмов, систем и пр., в основном металлические
30	<i>Wing Structure, Secondary — CAP</i>	Вторичные структуры, кронштейны, расположенные внутри крыла для крепления механизмов, систем и пр., в основном из ПКМ, автоматизированная выкладка, сборка путем совместного отверждения и с помощью механического крепежа

земных, воздушных и космических) при условии наполнения соответствующих баз знаний.

Таким образом необходимо отметить, что представленный комплекс моделей и соответствующий программный комплекс целесоо-

бразно использовать для учета рисков и визуализации изменений точности оценок затрат на начальных стадиях реализации авиационных программ.

Библиографический список

1. Туркин М.В. Влияние цифровых технологий на технологическую подготовку производства изделий авиационной техники // *Авиационная промышленность*, 2017, № 1, с. 46–50.
2. Любимов С.В., Тарасов О.А. Математическая модель оценки стоимости программы путем сравнения с аналогами // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент*, 2011, № 28, с. 27–30.
3. Туркин М.В. Адаптация BIM технологий для управления комплексными инвестиционными проектами технического перевооружения и модернизации производства // *Естественные и технические науки*, 2018, № 4, с. 270–276.
4. Valerdi, Ricardo, J. Merrill, and P. Maloney. "Cost metrics for unmanned aerial vehicles." *AIAA 16th Lighter-Than-Air Systems Technology Conference and Balloon Systems Conference*. 2005.
5. Ждановский А.В., Зуева Т.И. Методы и модели экономической оценки проектов авиационных двигателей. Современный инновационный менеджмент. Концепции. Модели. Оценки: Третий выпуск / Под ред. Л.Н. Сухановой. М.: Доброе слово, 2008, с. 200–216
6. Valerdi, Ricardo. *The constructive systems engineering cost model (COSYSMO): quantifying the costs of systems engineering effort in complex systems*. Saarbrücken, Germany: VDM Verlag Dr. Muller;, 2008. Print.

Поступила в редакцию 22.06.2018 г.