



УДК 658.9 (075)

Зворыкин К. О., Кривова С. Г.

Украинский НИИ авиационной технологии. Украина, г. Киев

**ОБ УПРАВЛЕНИИ СТОИМОСТНЫМ СОВЕРШЕНСТВОМ СЛОЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ
НАУКОЕМОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ****Анотація**

Розглядаються питання вартісної довершеності складних виробів наукоємного машинобудування на прикладі авіабудування. Наданий огляд існуючих розрахункових методів проектування собівартості наукоємної продукції.

Abstract

This paper reviews at the example of aircraft industry, the questions of cost perfection of complicated items of high-technology machine-building. The outlook of existing calculated methods for designing cost of high-technology products.

Для совершенствования производственных бизнес-процессов¹ и, прежде всего, для обеспечения эффективного производства сложной² и наукоемкой продукции, всегда актуальна адекватная информация о себестоимости³ продукции. Известно, что достоверность и точность сведений о себестоимости позволяет, с одной стороны, поддерживать конкурентоспособную цену продаж (временную, либо прейскурантную или оптовую) таких изделий, с другой — обеспечить прибыльность капиталоемкого производства сложной продукции, снизить риски появления убытков. Необходимо владеть методикой, позволяющей определять *достоверную* величину себестоимости, которая должна учитывать многочисленные

неопределенности с параметрами, как правило, зависящими от времени и непрерывно изменяющимися во времени. Кроме того, следует учитывать, что, несмотря на широкое использование *себестоимости продукции*, как основного показателя для принятия организационно-экономических и технических решений, сам по себе этот противоречивый и многогранный показатель *характеризуется высокой степенью условности* [1].

Сложности с оценками затрат на серийное производство сложной продукции наукоемкого машиностроения, в том числе с выбором *оптимального* (по критерию⁴ минимизации показателя «себестоимость») варианта сочетаний «конструкции изделия» — «производственная среда», трудности с прогнозированием достоверной величины себестоимости такой продукции (главным образом, производственной⁵ себестоимости) имели следствием создание многочисленных методик, в которых расчёты значений себестоимости выполняются разными алгоритмами. В основном, чем проще наукоемкая продукция, тем определённые параметры величин, характеризующих бизнес-процессы, и тем детальнее алгоритмы расчетов себестоимости такой продукции. Наоборот, чем сложнее наукоемкая продукция, тем меньше определённости с параметрами характеристик бизнес-процессов, тем больше упрощений и допущений содержит алгоритм вычислений значений себестоимости. Соответственно, упрощения, с одной стороны, позволяют получить определённое значение себестоимости продукции, но с другой — эта величина может быть не достаточно достоверной (в т. ч. малодостоверной).

Калькулирование себестоимости продукции традиционно осуществляется двумя основными путями: *временным* и *маржинальным*. Однако в последнее время существенно изменяются подходы к детализации показателей себестоимости; так, всё чаще стали рассчитывать себестоимость операций бизнес-процессов, жизненного цикла изделий и т. д. Одновременно стараются снижать степень условности показателей

¹ *Бизнес-процесс* — совокупность логически взаимосвязанных процессов внутренних видов деятельности предприятия по переработке ресурсов, которые заканчиваются созданием необходимой потребителю продукции в определённый промежуток времени.

² *Сложная* продукция (изделия) получается путём соединения частных продуктов труда (станки, машины, приборы и пр.).

³ *Себестоимость* — результат выполнения процесса калькулирования, осуществляемого в какой-либо калькуляционной системе. Применяются традиционные системы калькулирования: а) методы калькулирования полной себестоимости (Absorption-costing) и Variable-costing (Direct-costing); б) позаказный, попередельный методы и их модификации; в) методы фактического и нормального калькулирования (Job-Order costing — Normal-costing); г) нормативный учет и Standard costing, а также стали использоваться новые системы калькулирования; д) функционально-стоимостной анализ и АВ-costing (activity-based costing, ABC); е) калькулирование по последней операции (Endpoint-costing — в системе управления «Just-In-Time»); ж) калькулирование по стадиям жизненного цикла (Life-cycle costing); з) калькулирование по заданным параметрам (Target-costing); и) калькулирование на основе постоянного совершенствования (Kaizen-costing) [1].

⁴ Простейшее толкование критерия оптимальности связано с необходимостью соответствия себестоимости изделия его стоимости на рынке аналогичной продукции.

⁵ *Производственная* себестоимость складывается из цеховой себестоимости и общепроизводственных (общехозяйственных) затрат; *цеховая* себестоимость включает все затраты, понесённые в производственных подразделениях предприятия-изготовителя; *полная* себестоимость складывается из производственной себестоимости и коммерческих затрат [2].

себестоимости. Наиболее привлекательными с точки зрения точности являются преимущества подетального калькулирования себестоимости (подетально-партионный или подетально-пооперационный методы), обеспечивающего значительную точность результатов при большом содержании в составе изделий унифицированных элементов. Себестоимость изделия определяется суммированием себестоимости комплектов деталей (элементов) конкретных наименований и затрат на сборочные операции.

Обычно предприятия наукоемкого машиностроения характеризуются относительно невысокой степенью конкуренции, недиверсифицированной деятельностью с повторяющимися нормируемыми операциями и серийным типом производства, когда объектом калькулирования выступает заказ. В таких производственных системах используются комбинации систем Variable-costing с нормативным учетом (Standard costing) и позаказным калькулированием. Результаты стоимостного анализа обеспечивают предприятиям рациональные тактические и оперативные организационно-управленческие решения (рис. 1), основанные на информации о переменных затратах и показателях маржинальной прибыли и маржинальной рентабельности (исчисляется «усеченная» себестоимость без постоянных¹ затрат). Как правило, в методиках расчета себестоимости содержится возможность оценки степени влияния показателей (иногда — уровня влияния) на интегральные значения себестоимости изделия. Именно эта *релевантная информация*² в основном влияет на принятие решений (в отношении объема деятельности на основе анализа его соотношения с прибылью и затратами (CVP-анализ), по обоснованию решений в ценообразовании, по аутсорсингу, по рискам, по порогу безопасности и др.). При этом оперативное сравнение и выявление отклонений нормативной и фактической себестоимости успешно реализуется возможностями современных ERP-систем.

В машиностроении значения производственной трудоёмкости часто относят к релевантной информации, поскольку они существенным образом влияют не только на себестоимость продукции, но и, например, на принятие решений по необходимому уровню механизации и автоматизации производ-

ственных процессов предприятий. С другой стороны, та доля в структуре себестоимости, на которую влияет величина трудоёмкости, непосредственно зависит от характеристики производственной системы изготовителя машиностроительной продукции: (α) объединение предприятий с полным технологическим циклом изготовления продукции, (β) предприятия механосборочного производства или (γ) предприятия сборочного производства.

Характерным примером машиностроительных предприятий типа « γ » можно считать украинскую автомобилестроительную отрасль, в которой изделия собираются преимущественно из готовых машинокомплектов. Впрочем, в современном автомобилестроении — это мировая тенденция.



Рис. 1. Алгоритм процесса принятия управленческого решения [1]

В современном украинском наукоемком машиностроении осталось немного предприятий типа « α ». Примерами могут служить производственные комплексы тяжелого машиностроения в г. Краматорске, выпускающие уникальные прессы и установки для металлургических предприятий, или ракетостроительные предприятия в г. Днепропетровске.

В украинском судостроении, для которого всегда были характерны предприятия типа « α », теперь в основном изготавливаются корпуса судов. Затем корпуса транспортируются заказчиком на достройку и готовыми изделиями они становятся уже под марками всемирно известных судостроителей. Однако, производство самих корпусов судов вполне можно отнести к механосборочным предприятиям типа « β », причем функциональность сборочно-сварочных производственных подразделений иногда сохранилась на уровне предприятий типа « α » (рис. 2, а).

Поменялась ситуация и в современном авиастроении. От предприятий с практически полным технологическим циклом и наибольшей собственной трудоёмкостью в составе затрат производственной себестоимости самолетов (в замкнутых производственных системах авиастроения выпускалось почти всё —

¹ К постоянным (фиксированным и управляемым) относятся затраты, не зависящие от изменений объема производства или других независимых переменных показателей работы производственной системы (основная и дополнительная заработная плата, социальные отчисления, общехозяйственные и общепроизводственные затраты, затраты на содержание и эксплуатацию оборудования, зданий, сооружений и пр.); при этом допускается, что постоянные затраты неизменны только в заданном уровне деятельности и в заданный период и что при этом переменные затраты сохраняют прямо пропорциональную зависимость от объема производства.

² Информация, существенная для принятия решения, которая содержит данные, нужные для подготовки и принятия решения.

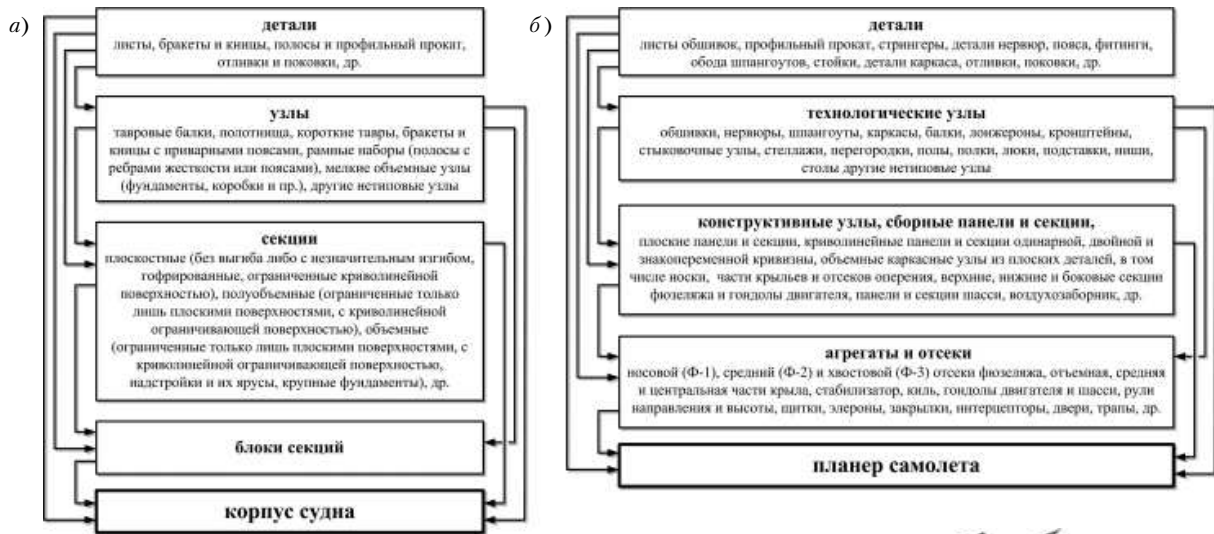
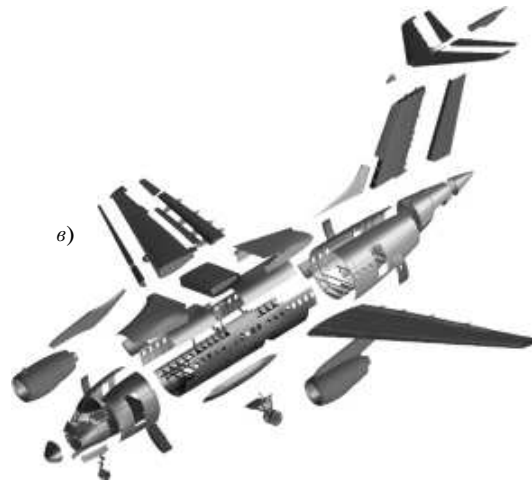


Рис. 2. Упрощенная классификация элементов изделий сложной техники по конструктивно-технологическим признакам:
 а — корпус судна; б — планер самолета;
 в — схема конструктивно-технологического членения самолета Ан-148 [3]



от отливок до малых и средних штамповок; кроме того, ещё на стадии проектирования летательного аппарата предусматривалось, чтобы доля покупных комплектующих изделий обычно не превышала 35%). Сегодняшняя общемировая тенденция — большинство авиастроительных производственных систем всё больше тяготеют к предприятиям типа «β», они стали в основном механосборочным производ-

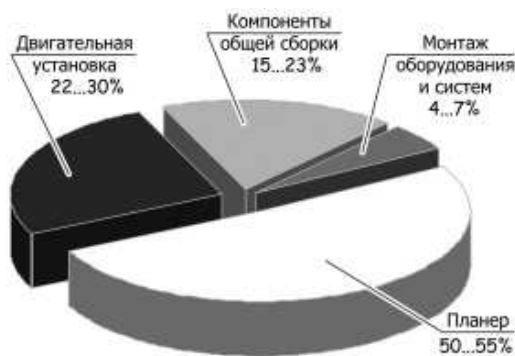


Рис. 3. Типичная структура трудоемкости изготовления среднего транспортного самолета массой до 25 тонн

ством (рис. 3). В структуре производственной себестоимости современного самолета (рис. 4) доля затрат¹ предприятия-изготовителя на собственную трудоемкость изготовления существенно снизилась, а доля затрат на покупные комплектующие изделия (ПКИ) и услуги сторонних организаций наоборот — возросла. Это не только украинская, но и мировая тенденция (рис. 4, в). Как следствие, ограничилось возможности влияния предприятия-авиастроителя на величину (цеховой) себестоимости. Соответственно, традиционные мероприятия, связанные с внедрением прогрессивных технологий и средств технологического оснащения, в основном — более высокопроизводительных средств механизации и автоматизации заготовительных, механообрабатывающих, механосборочных работ и окончательной сборки, раньше бывшие главным способом снижения трудоемкости, постепенно перестают быть основным средством влияния на величину себестоимости самолета (несмотря на то, что значительная часть производственной трудоемкости

¹ Термины «затраты», «расходы» и «издержки» здесь применяются как синонимы.

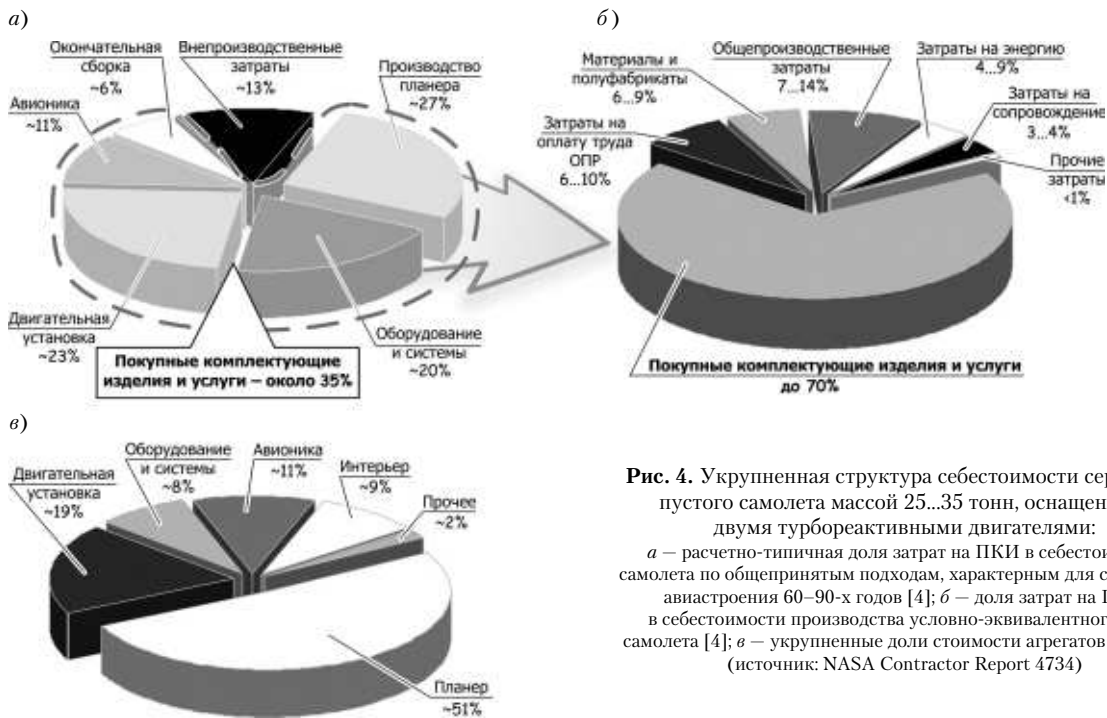


Рис. 4. Укрупненная структура себестоимости серийного пустого самолета массой 25...35 тонн, оснащенного двумя турбореактивными двигателями:
 а – расчетно-типичная доля затрат на ПКИ в себестоимости самолета по общепринятым подходам, характерным для советского авиастроения 60–90-х годов [4]; б – доля затрат на ПКИ в себестоимости производства условно-эквивалентного типа самолета [4]; в – укрупненные доли стоимости агрегатов самолета (источник: NASA Contractor Report 4734)

касается изготовления планера самолета – рис. 2, б, рис. 3). Более того, современные инвестиции в техническое «перевооружение», в модернизацию средств технологического оснащения выполняются, прежде всего, для обеспечения стабильности заданного качества авиационной техники, поскольку именно таким образом можно существенно снизить влияние человеческого фактора на качество продукции.

Как и прежде, величина производственной себестоимости многих сложных изделий наукоёмкого машиностроения, в т. ч. продукции авиастроения, в основном определяется трудоёмкостью её изготовления и затратами (ценой) на ПКИ. Соответственно, управляя этими интегральными факторами можно изменять себестоимость изделий и, как следствие, оказывать влияние на ценообразование. Только сегодня существенно изменились соотношения между этими факторами в уровнях влияния.

Полезно и наиболее эффективно управлять себестоимостью самолета, начиная с ранних этапов его проектирования. Именно тогда появляется возможность обеспечения заданного технического совершенства летательного аппарата, в том числе и обеспечения заданной себестоимости его создания. Именно тогда выгодно приступать к проектированию себестоимости самолета для достижения его стоимостного совершенства. Ведь себестоимость всё чаще выступает в качестве проектного параметра, такого же, как трудоёмкость и весовое совершенство [4].

Как отмечалось, известны многочисленные методы калькулирования себестоимости разных по сложности изделий. В том числе для сложных наукоём-



Рис. 5. Структурная схема элементов изделий авиастроения

ких изделий применялись и применяются обоснованные упрощения, которые, конечно, влияют на точность окончательных результатов. В авиастроении советского периода широко использовались методики, основанные на приближённых экспертных оценках себестоимости серийного самолета и затрат на его изготовление [4], формируемых специальными коэффициентами. Эти оценки выполнялись на этапе эскизного проектирования и имели специфическую цель – обосновать затраты на выпуск ещё только проектируемого нового изделия (рис. 5), но уже с учётом опыта, полученного ранее на производствах, серийно выпускающих продукцию-прототип. Многовариантность возможных конструкторско-технологических решений базировалась на технических рекомендациях, которые представляли собой отраслевой методический и справочно-информационный базис для оценки технологичности конструкции и принятия решений на этапе эскизного проектирования.



Основой оценки технологичности конструкции [6] была классификация её составных частей¹ по конструктивно-технологическим признакам и выделение от каждой классификационной группы типового представителя, показатели технологичности которого с необходимой точностью переносились на группы однотипных конструкций. При этом значения показателей технологичности типовых представителей конструкции определялись с использованием статистических данных однотипных конструкций (спроектированных или изготовленных). Комплексные показатели технологичности типовых представителей, при наличии необходимого объема статистических данных, обычно определялись методом корреляционного анализа (устанавливались взаимосвязи отдельных факторов — частных показателей технологичности). Корректирующие коэффициенты характеризовали проектируемую конструкцию по сложности, новизне, перспективности и другим признакам, соответствующим виду изделия. Численные значения корректирующих коэффициентов определялись отношением основных технических параметров назначения сравниваемых изделий или других факторов, характерных для конструкции, подготовки производства, изготовления, а также технического обслуживания или ремонта проектируемой конструкции изделия. В дальнейшем показатели технологичности часто уточнялись по данным накопленного опыта и утверждения технологического процесса, содержащего сведения о трудоемкости изготовления, средствах технологического оснащения, типизации технологических процессов и пр.

Известно, что обобщающим показателем производственной технологичности конструкции изделия является себестоимость. Поэтому проектные решения, принятые на этапе эскизного проектирования, в основном определяли себестоимость самолёта в будущем серийном производстве, которая на последующих этапах проектно-производственной стадии жизненного цикла изделия постоянно уточнялась, обычно методом расчета собственных затрат по статьям калькуляции.

Для целей определения стоимостного совершенства авиаконструкций известна его связь с особенностями² авиационного и развития авиации, в том числе:

- закономерным изменением собственных затрат на серийное производство самолета с ростом его порядкового номера;
- необходимостью унификации оборудования и систем самолетов, отвечающих современным правилам и требованиям к летательным аппаратам;

¹ Деталь или сборная часть самолета; сборная часть — часть самолета, состоящая из соединенных частей (ОСТ 1.42064-80).

² Собственные и часто подобные особенности имеются в других отраслях наукоемкого машиностроения, например, в судостроении, в тяжелом машиностроении, в энергетическом машиностроении и пр.

- углублением кооперации, аутсорсинга и сегрегации производства элементов самолета;
- обязательной конкуренцией на мировом рынке авиационной техники;
- закономерно высокой доходностью серийного производства самолетов в этой наукоемкой отрасли мирового машиностроения.

Для проектирования лимитной³ (директивной) себестоимости сложной наукоемкой продукции могут использоваться разные варианты *показательного калькулирования*:

- *подетальный* (группированием затрат по конкретным наименованиям деталей и составных частей — подборок⁴);
- *по услугам* (по однородным технологическим операциям);
- *контрактный* (по крупным единицам продукции, производство которых осуществляется в течение длительного времени);
- *поиздельный* (по каждому наименованию изделий или группе однородных изделий);
- *попартионный* (по партиям продукции).

Основным препятствием для применения этих известных подходов к синтезу (композиции) себестоимости (рис. 6) было и остается отсутствие достоверной, объективной, обоснованной, подтвержденной практикой нормативно-справочной базы данных. С другой стороны, лимитная себестоимость определяется в процессе ценообразования изделия и связана с получением прибыли — главной целью деятельности любого производственного предприятия.

Для прогнозирования себестоимости изделия обычно используются разные приближенные расчетные методы со всевозможными допущениями, в том числе *балльный* метод, метод *корреляционного анализа* и метод *удельных показателей*.

Балльный метод расчёта оценочных значений себестоимости сложной наукоемкой продукции считается наиболее универсальным. Метод основывается на экспертных оценках (с помощью баллов) основных технических данных аналогов проектируемого изделия, а также основных показателей серийного производства этих аналогов. После этого суммируются экспертные баллы, полученные для каждого параметра характеристик. Затем известное значение себестоимости каждого выпускаемого изделия-аналога делится на соответствующую сумму экспертных баллов. В результате для всех аналогов получается стоимость одного балла (называется — *ценностный множитель*). Далее определяется среднее арифметическое ценностных множителей изделий-аналогов, которое применяется для оценки себестоимости главным

³ *Лимитная (директивная)* себестоимость задается исходя из условия прибыльности серийного производства продукции.

⁴ *Подборка* — сборная часть самолета, собираемая отдельно (ОСТ 1.42064-80).

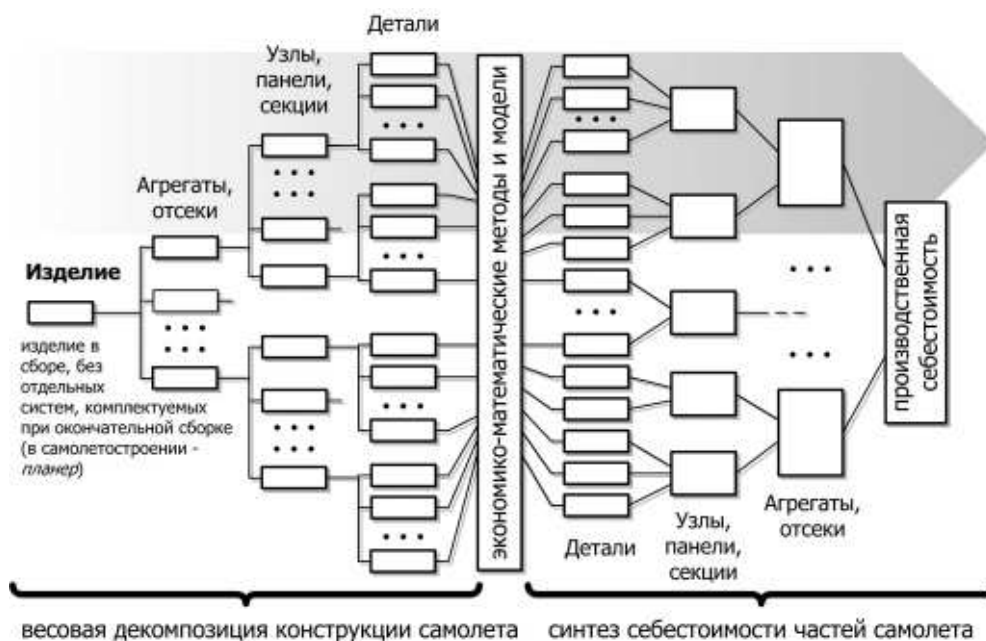


Рис. 6. Укрупненная схема проектирования себестоимости самолета по подобию с конструктивно-технологическим членением изделия

образом на ранних стадиях проектирования новых изделий.

Комплексное влияние на себестоимость изделия основных и наиболее существенных факторов может быть определено в результате корреляционного анализа [6]. При этом себестоимость изделия в серийном производстве рассматривается как функция выбранных его характеристик. Обычно для расчета себестоимости выбираются линейный и степенной виды зависимостей [2]. При подготовке исходных статистических данных, необходимых для моделирования, важным условием является приведение этих данных к сопоставимому виду. Кроме того, необходимо обеспечивать сопоставимость конструктивно-технологических параметров и приведение данных к одинаковым условиям производства.

В отличие от уже названных приближенных методов, расчетный метод удельных показателей обеспечивает достаточно высокую точность технико-экономического анализа (тем выше, чем больше аналогия базовой и проектируемой конструкций изделий). Этот метод определения себестоимости проектируемого изделия основан на статистических показателях удельной себестоимости какого-либо определяющего функционального параметра (или эксплуатационного, например, единица производительности, единица массы, единица мощности и пр.). Результаты, полученные этим методом, в дальнейшем могут уточняться с помощью частных удельных показателей, прежде всего, трудоёмкости и материалоёмкости. На основе рассчитанных затрат на материалы и заработную плату основных производственных рабочих себестоимость укрупнено определяется по известным кальку-

ляционным алгоритмам (в зависимости от систем калькулирования).

Декомпозиция составных частей планера самолета по конструктивно-технологическому признаку (рис. 6) и использование удельных показателей, благодаря подобию последовательностей проектирования себестоимости со сборкой, позволяет с высокой достоверностью рассчитать прогнозные затраты предприятия на сборные части и составные элементы. Декомпозиция лимитной себестоимости, определённой в процессе ценообразования самолета, позволяет определить агрегатную себестоимость. Далее определяется лимитная себестоимость ПКИ, имеющих в составе агрегатов и появляется возможность выявления предварительных вариантов затрат на ПКИ в том числе и для последующего выбора поставщиков ПКИ (в состав себестоимости сложных изделий обычно включается цена покупных комплектующих изделий, изготовленных на других предприятиях и полученных в рамках производственной кооперации).

Для оценочных расчётов затрат на подготовку и освоение производства, как правило, используются данные о затратах на подготовку производства (отраслевые нормативные, статистические производственные или расчетные, например, методом удельных показателей) аналогичных изделий или агрегатов, ранее уже выпускавшихся предприятиями. На этапах эскизного проектирования и последующих проектных этапах появляется возможность более точного прогнозирования себестоимости проектируемого изделия, в том числе за счёт анализа вариантов позаказного калькулирования, включая учёт затрат на сборку изделия.



Традиционно полная себестоимость C_{Π} серийно производимого сложного изделия определяется суммой интегральных затрат предприятия-изготовителя:

$$C_{\Pi} = k \cdot \left[\sum_{i=1}^r (n_{\text{ДСЕ}} \cdot C_{\text{ДСЕ}})_i + \sum_{i=1}^s (n_{\text{ПКИ}} \cdot C_{\text{ПКИ}})_i \right] + Z_{\text{ПП}} + Z_{\text{НП}},$$

где $C_{\text{ДСЕ}}$ — технологическая (цеховая) себестоимость изделия (деталей и сборочных единиц — ДСЕ) собственного изготовления с учётом объема выпуска и порядкового номера готового изделия (серийного), в состав которого оно входит; $n_{\text{ДСЕ}}$ — количество одноименных ДСЕ; r — номенклатура основных ДСЕ собственного изготовления всех наименований; $C_{\text{ПКИ}}$ — цена ПКИ, входящего в состав готового изделия, обычно с учётом порядкового номера, то есть с учётом возможного или заданного изменения объема выпуска готовых изделий на предприятии-изготовителе; $n_{\text{ПКИ}}$ — количество одноименных ПКИ; s — номенклатура ПКИ всех наименований; k — коэффициент, учитывающий затраты на общую сборку и технологическую себестоимость неучтенных элементов готового изделия; $Z_{\text{ПП}}$ — затраты на подготовку производства; $Z_{\text{НП}}$ — внепроизводственные затраты; i — порядковый номер наименования изделия.

Результаты прогнозирования себестоимости изделия, как правило, служат основой для назначения директивных значений показателей производства и для формирования организационно-технических мероприятий, направленных на снижение себестоимости. Ранее показано, что в структуре себестоимости изделий отечественного авиастроения наибольшие затраты связаны с приобретением ПКИ. Таким образом, влияние на механизм формирования цены ПКИ становится одним из главных факторов снижения себестоимости серийных самолетов. Для осуществления такого влияния авиастроительным предприятиям необходим отраслевой нормативно-справочный информационный массив, обеспечивающий получение вариантов прогнозной себестоимости ПКИ и самолетов в целом.

Заключение

Снижение рисков появления убытков от серийного производства сложных изделий, в т. ч. самолетов, связано необходимостью определения достоверной величины себестоимости, которое осуществляется путем проектирования себестоимости самолета на

ранних этапах проектирования конструкции изделия для достижения его стоимостного совершенства.

Для использования расчетных методов прогнозного проектирования себестоимости целесообразно пользоваться аналогиями последовательностей проектирования (синтеза) себестоимости с процессами (последовательностями) сборки. Целесообразно формирование специализированных информационных массивов статистических показателей удельной себестоимости характерных составных элементов изделий по функциональным параметрам (для авиастроения — в основном единицы массы), которые необходимы для последующего синтеза цеховой себестоимости.

Расчетное определение прогнозной лимитной цены ПКИ на этапе эскизного проектирования позволит отбирать целесообразные предварительные варианты покупных комплектующих изделий (варианты производственной кооперации).

Литература

1. *Управленческий учет*: [Учебник] / под ред. проф. Я. В. Соколова. — М.: Магистр: ИНФРА-М, 2011. — 720 с.: ил.; 21,5 см. — ISBN 978-5-9776-0177-1, ISBN 978-5-16-004296-1.
2. *Руководство по технологичности самолётных конструкций* [Текст] / Под общ. ред. П. Н. Белянина. — М.: НИАТ, 1983. — 720 с.: ил.
3. *Технологія виробництва літальних апаратів*: Підручник: У 2 кн. Кн. 2. Технологія складання літальних апаратів [Текст] / Ю. М. Терещенко, Л. Г. Волянська, К. А. Животовська, В. М. Король [та ін.]; За ред. Ю. М. Терещенка. — К.: Книжкове вид-во НАУ, 2006. — 492 с.: ил.; 23,5 см. — 1000 пр. — ISBN 966-598-356-3.
4. *Кривов, Г. А.* Стоимость — важнейший параметр проекта гражданского самолета и показатель его конкурентоспособности // Технологические системы, 2009. — № 5 (49). — С. 22–36. — ISSN 2074-0603.
5. *Шейнин, В. М.* Весовое проектирование и эффективность пассажирских самолетов [Текст]: Справочник / В. М. Шейнин, В. И. Козловский. — [2-е изд., перераб. и доп.]. — М.: Машиностроение, 1984. — 552 с.: ил.; 22 см. — Библиогр.: с. 538–540. — 3000 экз.
6. *Методика* отработки конструкций на технологичность и оценки уровня технологичности изделий машиностроения и приборостроения [Текст] / Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР. — М.: Издательство стандартов, 1976. — 55 с.: ил. — Библиогр.: с. 48–55.