

УДК 658.5

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАТРАТ ПРИ СОЗДАНИИ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

© 2017 г. А. Д. Цисарский

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

*В статье описан зарубежный опыт определения трудоемкости и стоимости разработок в авиационно-космической промышленности США на примере DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) — агентства перспективных оборонных исследовательских проектов и NASA — национального управления по воздухоплаванию и исследованию космического пространства США. Приведены результаты систематизации методов и моделей оценки затрат при управлении проектами по созданию ракетно-космической техники.*

*Ключевые слова: авиационно-космическая промышленность; ракетно-космическая промышленность; трудоемкость; прогнозирование затрат; метод; модель; DARPA; NASA.*

*The article describes international experience of definition of complexity and cost developments in aerospace industry of the USA on the example of DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) — an Agency defense advanced research projects and NASA — National Aeronautics and Space Administration of the USA. Results of systematization of methods and models of cost estimation in project management for the development of rocket and space technology are given in the article.*

*Key words: aerospace industry; rocket and space industry; complexity; forecasting of costs; method; model; DARPA; NASA.*

### **Введение**

Оценка затрат на создание ракетно-космической техники (РКТ) очень важна, и без нее не обходится ни одна компания в мире, т.к. функционирование всех компаний предусматривает заключение договоров на проведение НИОКР, определение объемов финансирования и технико-экономического анализа проектов, выбора альтернативных конструкторско-технологических вариантов будущего изделия для прогнозирования, планирования и бюджетирования средств и ресурсов по фазам проекта создания РКТ и др.

Анализ продаж на мировом космическом рынке за последние 20 лет показывает, что структура цены при создании ракетной техники изменяется за счет инфляционных процессов, увеличения фонда оплаты труда конструкторов, инженеров, технологов, менедже-

ров и других категорий работников, а также за счет увеличения стоимости разработок АТ-технологий для систем управления, новой элементной базы, внедрения систем защиты связи от несанкционированного воздействия на систему управления ракетой, космического аппарата, системы управления агрегатов ракетно-космических комплексов, за счет автоматизации процессов наземной отработки изделий, математического моделирования расчетов возмущений, действующих на конструкцию при запуске ракетополетителей и многих других факторов. Для российских компаний увеличение стоимости производства, разработки и испытаний связано с международными экономическими санкциями и увеличением стоимости процентной ставки по кредитным ресурсам, невозможностью приобрести элементы электронно-компонен-

тной базы, высокотехнологичное оборудование для наземной отработки и испытаний и др. Поэтому оценка затрат при создании ракетно-космической техники на всех этапах жизненного цикла изделия очень актуальна.

### **Зарубежные практики прогнозирования**

Конкурентоспособность перспективных образцов ракетно-космической техники определяется не только достижением высокого уровня надежности ее функционирования и превосходящими конкурентов научно-техническими характеристиками, но также и конкурентоспособными ценами. Для заказчиков перспективных образцов РКТ, которыми являются государственные структуры в лице органов исполнительной власти, а также коммерческих структур очень важно сочетание *цена/качество*, поэтому в процессе создания новых видов РКТ необходимо постоянно измерять соотношение затрат и достигаемых технических характеристик на всех стадиях жизненного цикла создания РКТ. Достоверное измерение суммарных затрат на разработку и создание образцов ракетно-космической техники позволяет управлять себестоимостью создаваемых видов техники, а соответственно и прогнозировать «нижнюю границу цены» разрабатываемого и изготавливаемого образца ракетной техники [5].

Современное прогнозирование должно учитывать также высокую волатильность (быстрые изменения) внешней среды, в особенности большие колебания цен на материалы, энергоносители, комплектующие и т.д. [1, 2, 9, 10].

Перечисленные выше проблемы ставят задачу совершенствования подходов и рекомендаций по прогнозированию себестоимости и цены в условиях недостаточности по объему статистических данных, а также высокой неопределенности внешней среды.

Методы организации работ по прогнозированию затрат используют в своей деятельности многие структуры оборонного сектора за рубежом в США и других странах.

Рассмотрим зарубежные практики прогнозирования трудоемкости и затрат, применяемые в DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) — агентстве перспективных оборонных исследовательских проектов США и NASA — национальном управлении

по воздухоплаванию и исследованию космического пространства США.

Эффективность системы функционирования DARPA подтверждается многолетним эффективным опытом работы на рынке оборонных исследований. Прогнозирование трудоемкости и стоимости разработок применительно к перспективным проектам относится к наиболее сложным задачам. Сложность прогнозирования связана с тем, что на ранних стадиях разработок отсутствуют многие данные из-за того, что еще не разработана соответствующая документация, но есть настоятельная потребность в оценках объема инвестиций, имеющихся материальных и трудовых ресурсов, логистики, обеспечения жизненного цикла в условиях высокой неопределенности.

В практике прогнозирования DARPA важное место занимают два метода [4, 7]:

— интервальная оценка трудоемкости и стоимости;

— анализ стоимости жизненного цикла.

На начальных стадиях разработки трудовые и стоимостные показатели не могут быть точными. Их стохастическая природа обычно характеризуется вероятностными параметрами, покрывающими интервал, куда входят наиболее вероятная, пессимистическая и оптимистическая величины [4, 7].

В статистике интервальная оценка — это разделение всего диапазона возможных значений оцениваемой переменной на интервалы и последующее определение интервала, которому принадлежит значение этой переменной. Интервальная оценка используется в том случае, если более точное измерение переменной невозможно.

Трудоемкость и стоимость проекта, а также его эффективность более точно оцениваются с помощью метода анализа жизненного цикла.

Специалисты Университета Джона Хопкинса применили интервальную оценку трудоемкости стоимости к проекту DARPA по созданию демонстратора экономичной ракеты быстрого ответа — Affordable Rapid Response Missile Demonstrator (ARRMD), а метод анализа стоимости жизненного цикла — к проектам гибкого производства титана (Flexible Fabrication of Titanium Program) и орудия на легком газе для запуска спут-

ников (Light Gas Guns for Satellite Launch Program) [7].

### **Интервальная оценка стоимости и трудоемкости**

Интервальная оценка трудоемкости и стоимости — это выбор интервала оценки с соответствующими вероятностными показателями. Оценки могут быть получены из различных источников информации, но, как правило, основываются на детальных инженерных расчетах либо на регрессионных уравнениях, которые связывают ценовые параметры предшествующих проектов с тактико-техническими характеристиками изделия, такими как вес, дальность действия, объем, мощность или сложность схем. Часто в эти оценки вводят поправки на техническую сложность и зрелость концепции [7].

Далее следует процедура разработки структуры стоимости с заданным уровнем детализации. Элементы этой структуры должны быть определены достаточно детально для обеспечения возможности проведения разумных оценок при правильном балансе детализации и агрегации.

Следующая итерация в интервальной оценке — построение распределения вероятностей для каждого элемента структуры. Как правило, вероятностные характеристики заранее неизвестны, но могут быть определены инженерными расчетами с применением параметрических оценок.

Идеальный вариант — когда распределение вероятностей базируется на инженерных оценках с оценкой цен и непредвиденных расходов, выполненной инженерами и экономистами. Если данные этого типа недоступны, можно применить другие методы. Один из таких методов — техника оценки и анализа программ PERT (Program (Project) Evaluation and Review Technique). В этом методе используется бета-распределение соответствующих параметров, основанное на трех ценовых показателях для каждого элемента: наиболее вероятном, оптимистичном и пессимистичном [4, 7].

Преимуществом этих методов является отсутствие необходимости больших объемов данных: требуются только три оценочных параметра для каждого элемента.

Общая трудоемкость и стоимость системы определяется на основе случайной выборки оценочной стоимости для каждой подсистемы. Процесс повторяется многократно, при этом желательнее получить несколько тысяч оценок стоимости. Полученные результаты служат основой для статистической оценки итоговой стоимости [7].

Описанный метод учитывает неопределенность трудоемкости и стоимости, связанную с принятыми параметрами и распределениями значений, однако он не учитывает возможность ошибки в определении оптимистичной, пессимистичной и наиболее вероятной стоимости. Примером проведения интервальной оценки стоимости служит проект DARPA ARRMD. Его целью была разработка гиперзвуковой крылатой ракеты со средней стоимостью одного пуска 200 000 долларов при условии организации серийного производства [4].

Проект был разделен на несколько фаз. Фаза I предполагала отбор одной из двух конкурирующих концепций: концепции фирмы Waverider, использующей вариант гиперзвукового двигателя HYTECH, и более традиционной концепции цилиндрической ракеты с двухступенчатым прямоточным воздушно-реактивным двигателем. Анализ и проработку обеих концепций осуществляла фирма Boeing Corporation. Для фазы II, которая должна была завершиться полетной демонстрацией прототипа ракеты, DARPA выбрало концепцию Waverider [4].

Фирма Boeing разработала структуру проекта, имеющую до 70 подсистем (элементов) для каждой концепции. Затраты на некоторые элементы определялись в процентах стоимости других элементов. Каждому элементу присваивалась наиболее вероятная стоимость. Описания элементов содержали оценку соответствующего риска превышения затрат. Суммирование всех затрат на элементы с учетом рисков давало пессимистическую оценку, а суммирование выгод от выбора элементов с меньшим риском превышения затрат давало оптимистичную цену. Эти оценки позволяли провести интервальную оценку стоимости с минимальной потребностью в дополнительных данных от инженеров и групп разработки конечного изделия [7].

### Оценка затрат в NASA

Рассмотрим методическую базу оценки затрат в NASA США. В настоящее время существует много предложений по улучшению методов управления и оценивания затрат в NASA. Прогнозирование и оценка затрат по проектам и программам Агентства систематизированы в отдельном утвержденном регламенте — Руководстве по оцениванию затрат в NASA [11]. Правила, разработанные в этом Руководстве, позволяют специалистам NASA достаточно точно прогнозировать и оценивать затраты при создании ракетно-космической техники на различных фазах проекта. В феврале 2015 г. Агентство выпустило обновленный регламент, который в целом сохранил основные принципы и подходы, разработанные в предыдущих версиях Руководства [12, 13].

Оценка затрат в NASA — это платформа, на основе которой разрабатываются бюджеты проектов, программ Агентства для дальнейшего утверждения в правительственных структурах, а также для проведения экспертиз и принятия решения по их финансированию [11, 12].

Принципы прогнозирования и оценки затрат в регламенте NASA рассматривают все вопросы, проблемы, связанные с методами оценивания затрат, характерными для каждого этапа создания РКТ: концепции, разработки РКД, производства, испытаний и отличительные особенности оценивания каждого этапа. Руководство описывает методы оценивания и содержит практическую информацию и рекомендации по их практическому применению. Руководство не содержит требований, предъявляемых к проектам NASA, и не является методическим пособием, но пошагово расписывает процедуру и какие необходимы данные для расчета, чтобы оценивать затраты в соответствии с нормативным документом NPR 7120.5D NASA Space Flight Program and Project Management Requirements [12, 13].

Требования, точность оценки затрат и методы их расчета изменяются в зависимости от целей и задач, которые стоят перед различными центрами NASA [11], но основные требования и методы к прогнозированию и оценке затрат проектов внутри NASA остаются неизменными. Каждое подразделение NASA, которое оценивает затраты на со-

здание ракетно-космической техники, может уточнить при необходимости полученные на каждой фазе жизненного цикла характеристики изделия и соответственно затраты, разработав специальные инструкции и процедуры, характерные для требований данного центра. В случае, когда прогнозные оценки, полученные по методике регламента, имеют существенные отклонения, специалист по оцениванию затрат вносит предложения по доработке методической базы Руководства, когда того требуют обстоятельства.

Многолетняя практика NASA по управлению проектами на протяжении всего жизненного цикла изделий приводит к реальным и ощутимым положительным результатам для всех компаний, которые заинтересованы в их реализации. В США принято, что участники проекта планируют дивиденды от своего участия в проекте, а также соисполнителям для успешной его реализации [11], при этом они должны представить полную смету затрат по работам, выполняемым всеми соисполнителями, поэтому прогнозирование и оценка затрат так важны для NASA.

Оценка затрат для всего цикла проекта (LCCE) есть оценка, которая включает полные затраты на изделия РКТ и всех его узлов и агрегатов, включая затраты на предварительный и окончательный дизайн, изготовление, наземную отработку, летные испытания, эксплуатацию и утилизацию [12, 13]. Такая оценка позволяет сделать расчеты всех ресурсов (технологических, финансовых, кадровых и др.), определить их структуру, включая затраты на разработку, испытания, внедрение, эксплуатацию и обслуживание, утилизацию. LCCE используется для принятия решений по бюджету, выбору вида схемы финансирования, определения этапов и фаз проекта, определения целесообразности финансирования, а также ее приоритетности [11].

Использование данных, полученных при прогнозировании и оценке затрат на проект, является очень важным звеном для принятия решения при ограниченных ресурсах. В США разработана законодательная и правовая основа, нормативные акты, учитывающие все затраты и обязывающие вести учет затрат.

Все законы и нормативы «учета», такие как акт GPRA (Правительственный акт о де-

тельности и результатах), нацелены на повышение эффективности проекта. Эта законодательная основа обязывает государственные агентства, в т.ч. NASA [12, 13]:

— фокусироваться на задачах агентства, стратегических целях, эффективности и результатах;

— принимать стратегические решения по вопросам государственных инвестиций;

— получать наибольшую отдачу от вложенных средств;

— представлять результаты должным образом.

Для федеральных исполнительных агентств правовые акты требуют тщательного планирования и экономического анализа. Эти акты подкрепляются руководствами и требованиями по отчетности, включенными в документы Circulars A-11, A-130 и A-94, которые используются в процессе составления федерального бюджета административно-бюджетным управлением [11]. Этот подход позволяет NASA проводить оценки затрат и производить сравнительный анализ данных по бюджету с данными внешних отчетов, что должно привести к улучшению бюджетных планов и снижению затрат.

NASA постоянно стремится достичь максимальных результатов при ограниченной величине бюджета. К работе по оценке затрат NASA привлекает сообщество экспертов, которое обеспечивает предоставление полной и объективной информации руководству агентства, оценивает риски финансовых вложений в проекты, тем самым увеличивает доверие к NASA и его деятельности.

Рассмотренная зарубежная практика прогнозирования трудоемкости и стоимости изделий РКТ, а также описание условий и областей их применения позволяют проектным менеджерам оценить эти важные параметры с требуемой достоверностью и желательной скоростью, а также в соответствии со стадией реализации проекта, фазой жизненного цикла изделия и видом выполняемых работ при создании изделий РКТ.

### **Систематизация методов и моделей прогнозирования затрат**

Управление процессом создания новых изделий ракетно-космической техники (РКТ), как правило, осуществляется в форме

проектного менеджмента [8]. Для принятия решения о выборе метода или модели оценки затрат необходимо учитывать такие факторы, как фаза реализации проекта, уровень неопределенности знаний о состоянии проекта, объем эмпирических данных о проектах-аналогах, тактико-технических характеристиках изделия и системы управления, комплексов навигации связи и многое другое. Для этого, например, на фазе разработки концепции создания РКТ целесообразно применять методы укрупненной грубой оценки, а в процессе составления прогнозного бюджета и проведения переговоров о цене желательно использовать более точные методы оценки.

Анализ методов и моделей прогнозирования затрат позволил рассмотреть достоинства и недостатки существующих методов, которые приведены в таблице 1 [6].

В результате изучения материалов, представленных в работах [6, 8, 10, 12, 14, 15] была проведена систематизация методов и моделей оценки затрат. Укрупненно можно выделить три группы методов, их области применения, недостатки и ограничения — таблица 2 [6].

В таблице представлены следующие методы:

— оценочные методы: экспертное мнение (оценка), квалифицированное предположение, оценка порядка величин, эмпирические данные, метод аналогии (в том числе структурной аналогии) и др.;

— параметрические методы и модели: метод «затраты-полезность», метод функционально-стоимостного анализа (ФСА), статистические корреляционно-регрессионные модели, методы вероятностных расчетов, экономико-математические модели и др.;

— детализированные методы: анализ рабочих пакетов, анализ планов работ и спецификаций при организации производства и др.

### **Методы и модели оценки затрат и области их применения**

Зарубежная практика прогнозирования трудоемкости, систематизация методов и моделей прогнозирования затрат, а также сопоставление методов ценообразования привели к следующим выводам.

Единого подхода и метода для прогнозирования себестоимости, а также оценки

затрат при создании РКТ сегодня не существует, поэтому следует использовать преимущества и снижать недостатки существующих методов посредством их применения. Необходима комбинация методов, которая зависит от качества исходной информации, жизненного цикла изделия и фазы его создания, объективных закономерностей и законов, которые отражают причинно-следственные связи различных факторов с затратами, а также общие закономерности рыночных отношений

(инфляция, рост заработной платы, рост тарифов на энергоносители и др.).

Среди статистических методов стоит уделять особое внимание комбинированному методу прогнозирования. При его применении взаимодополнение классических статистических и экспертных методов прогнозирования позволит повысить точность прогнозирования себестоимости создания РКТ как в краткосрочной, так и долгосрочной перспективе, тем самым обеспечивать

Таблица 1

## Анализ методов и моделей прогнозирования затрат

№	Достоинства метода	Регрессионный анализ	Балловый метод	Метод надбавки	Метод целевой прибыли	Доход на капитал	Метод «конвертов»	Потребительская оценка	Параметрический метод	Следование за лидером	Target costing	Модель PRICE
1	Простота	-	-	+	-	-	+/-	+/-	-	+	-	+
2	Планирование (учет) издержек	-	-	+	+	+	+/-	-	-	-	+	+
3	Планирование прибыли	-	-	+/-	+	+	+/-	-	-	-	+	+
4	Ориентация на спрос	-	+/-	-	+/-	+/-	+/-	+	-	+/-	+	+
5	Ориентация на конкурентов (аналоги)	+	+/-	-	-	-	+/-	-	+/-	+	+	+
6	Учет требований заказчиков относительно свойств изделия	+/-	+/-	-	-	-	+/-	+	+	-	+	+
Общие результаты оценки метода	+	1	0	2	2	0	2	2	1	2	5	6
	+/-	1	3	1	1	6	1	1	1	1	0	0
	-	4	3	3	3	0	3	3	4	3	1	0

Условные обозначения: + — обладает в полной мере; +/- — обладает в какой-то мере; - — не обладает.

Таблица 2

## Систематизация методов и моделей оценки затрат

Методы	Предпосылки применения	Области применения	Недостатки и ограничения
Оценочные методы	— наличие экспертов/опыта; — наличие аналогов; — укрупненное описание нового изделия	— ранние стадии проекта; — независимый контроль оценок; — укрупненная оценка бюджета проекта; — ситуации неопределенности и риска	— субъективность; — неопределенный уровень точности; — неприменимость для детальных переговоров о цене
Параметрические методы и модели	— исторические данные; — регрессионный анализ; — наличие связи функций с затратами	— сравнение концептов (планов, программ); — планирование бюджетов; — оценка предложений; — независимый кросс-контроль	— экстраполяция данных и моделей часто затруднительна (или невозможна); — точность оценки сомнительна
Детализированные методы	— графики Ганта, сетевые графики; — детальные технические материалы; — отчеты о работах (архив данных) и спецификации; — наличие предложений по ценам	— проведение переговоров по цене; — ситуации с высокими рисками реализации проектов	— дорого и затратно по времени (не рекомендуется на ранних стадиях); — малая гибкость; — может привести к росту затрат (в случае очень детального анализа)

устойчивость предприятия в условиях высокой нестабильности рынков.

Метод целевых издержек позволяет планировать издержки, прибыль, ориентироваться на спрос с учетом конкуренции и учитывать требования заказчиков. Кроме этого, этот метод обладает дополнительными преимуществами, которых нет ни у одного другого метода:

— позволяет сохранить цену на уровне маркетинговой, что особенно актуально для России, где цена является важным фактором при заключении договора;

— не делает предпочтительными требования производителя или покупателя, а наиболее комплексно учитывает и те, и другие и др.

В качестве перспективного метода к прогнозированию и управлению себестоимос-

тью элементов изделий РКТ на всех этапах жизненного цикла выступает комбинация методов и моделей прогнозирования затрат:

— оценочные методы (экспертный метод, аналогово-сопоставительный, структурный и др.) применяются на ранних стадиях проекта для независимого контроля оценок и укрупненной оценки бюджета проекта;

— параметрические методы и модели (метод ФСА, метод Target Costing, параметрическая модель PRICE и др.), которые применяются на более поздних фазах жизненного цикла создания РКТ для сравнения концептов (планов, программ), планирования бюджетов и оценке предложений, независимого кросс-контроля;

— детализированные методы (графики Ганта, сетевые графики, детальные техниче-

кие материалы, отчеты о работах (архив данных) и спецификации, наличие предложений по ценам.

### Выводы

Опыт зарубежных компаний в области прогнозирования трудоемкости и стоимости разработки изделий АКП может быть успешно применен на предприятиях ракетно-космической промышленности России. Приведена систематизация методов, моделей оценки прогнозирования затрат, позволяющая упорядочить методы прогнозирования с учетом конкретной стадии (разработка, производство, испытания). Все это позволяет рассматривать совокупность технических, временных и стоимостных параметров изделия и прогнозировать затраты на создание РКТ на всех этапах жизненного цикла, а также применять проектными менеджерами предложенный подход при управлении проектами в космической отрасли.

### Литература

1. *Акимов В. А., Дурнев Р. А., Жданенко И. В.* В поисках подходов к оценке трудоемкости НИОКР в области безопасности жизнедеятельности: предпосылки и допущения к определению трудозатрат // *Современные наукоемкие технологии.* — №1, 2012. — С. 18–23.
2. *Дракин И. Н.* Основы проектирования беспилотных летательных аппаратов с учетом экономической эффективности. — М.: Машиностроение, 1973.
3. *Плащенко В. В.* Методы расчета и обоснования цен на научно-техническую продукцию промышленных предприятий // *Вестник Череповецкого государственного университета.* — №1, 2009. — С. 74–78.
4. Об оценках эффективности работы агентства DARPA: Аналитический обзор. — М.: Научно-технический институт межотраслевой информации, 2016. — 58 с.
5. *Фалько С. Г., Цисарский А. Д., Баев Г. О.* Управление себестоимостью и прогнозирование цен по этапам жизненного цикла создания ракетно-космической техники (РКТ) // *Контроллинг.* — 2013. — №1 (47). — С. 70–74.
6. *Цисарский А. Д.* Систематизация методов и моделей оценки затрат при управлении проектами по созданию ракетно-космической техники // *Контроллинг.* — 2013. — №4 (50). — С. 58–61.
7. Зарубежные практики определения трудоемкости и стоимости разработок в авиационно-космической промышленности // *Контроллинг.* — 2016. — №3 (61). — С. 70–73.
8. *Цисарский А. Д.* Управление проектами при создании перспективных изделий ракетно-космической техники. — М.: Издательский дом. — 147 с.
9. *Четыркин Е. М.* Статистические методы прогнозирования. — М.: Статистика, 1977.
10. *Чуев Ю. В., Михайлов Ю. Б.* Прогнозирование в военном деле. — М.: Воениздат, 1975. — 150 с.
11. *Волков В. А.* Методы оценки и управления реализуемостью проектов по созданию ракетно-космической техники / Диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук. — Москва, 2015. — 149 с.
12. USA Aerospace Industry Report 2008. Aerospace Summary. — USA, Aerospace Industries Association, 2009.
13. NASA Systems engineering handbook [Electronic resource] / Nat. Aeronautics and Space Administration — (NASA/SP-2007–6105; Rev. 1). — URL: <http://education.ksc.nasa.gov/esmdspacegrant/Documents/NASA%20SP-2007>. — Дата обращения: 14 февраля 2016 года. — Washington: NASA, 2007. — 60 p.

Поступила в редакцию

24 мая 2017 г.



**Цисарский Александр Дмитриевич** — кандидат технических наук, доцент кафедры экономики и организации производства МГТУ им Н. Э. Баумана

**Tsisarskiy Alexander Dmitrievich** — Candidate of Technical Sciences, assistant professor of Economics and Production Organization of Bauman Moscow state technical University.

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5  
5 2nd Baumanskaja st., 105005, Moscow, Russia  
Тел.: +7 (499) 267-00-49, +7 (985) 760-44-61  
E-mail: alex22081952@gmail.com

---

---