

Методические аспекты технико-экономического обоснования целесообразности разработки средств измерений

О. Ю. БУЛГАКОВ¹, Е. И. ШАЙКО²

¹Мытищинский научно-исследовательский институт радиоизмерительных приборов, Мытищи, Московская обл., Россия, e-mail: sertifbv@yandex.ru

²Главный научный центр МО РФ, Мытищи, Московская обл., Россия

Разработаны элементы методики технико-экономического обоснования научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию средств измерений.

Ключевые слова: средства измерений, технико-экономическое обоснование, научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

Developed elements of a technique of a feasibility report of research and developmental works on creation of measuring instruments.

Key words: measuring instruments, feasibility study, research and development (R&D).

В процессе разработки средств измерений (СИ) возникает необходимость технико-экономического обоснования (ТЭО) соответствующих научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР). Техничко-экономическое обоснование должно подтверждать целесообразность (или нецелесообразность) создания конкретного СИ на основе анализа планируемых затрат и ожидаемых результатов разработки. От корректного, наиболее полного и взаимосвязанного ТЭО зависят конкретные НИОКР. Обоснование создания СИ (предлагаемого для разработки образца) включает следующие оценки:

предназначения образца с указанием конкретных измерительных задач;

состояния измерений в данной области, включая вопросы обеспечения единства измерений;

состояния парка однотипных СИ и прогноз его изменения;

технических характеристик с использованием сравнительного анализа существующих и перспективных отечественных и зарубежных аналогов;

степени повышения эффективности решения с помощью СИ конкретных измерительных задач на основе критерия минимума затрат;

степени готовности эксплуатационной и ремонтной баз для обеспечения функционирования СИ и прогноза затрат на совершенствование (при необходимости) этой базы;

техничко-экономического эффекта внедрения нового образца с учётом комплексного прогноза затрат на всех этапах жизненного цикла СИ.

Также в ТЭО должна обязательно учи-

тываться привязка (прослеживаемость) СИ к существующей поверочной схеме.

Схема подготовки и ТЭО НИОКР по созданию СИ приведена на рисунке. В основе принятия решения о подготовке предложений по разработке СИ лежит корректно сформулированная метрологическая проблема (измерительные задачи), а также перечень тактико-технических требований, предъявляемых к разработке (технические и метрологические характеристики, условия эксплуатации, характеристики надёжности, уровень автоматизации и т. д.), требования



Рекомендуемая схема подготовки и технико-экономического обоснования НИОКР по созданию СИ

к функциям и параметрам образца. Затем осуществляется поэлементная оценка технического уровня, экономической эффективности и целесообразности закупки зарубежных аналогов (если они существуют). Завершается обоснование интегральной технико-экономической оценкой предлагаемых НИОКР. Рассмотрим пошаговую реализацию представленной схемы.

Формулировка метрологической проблемы (измерительных задач) и требований к перспективному предлагаемому СИ. На основе анализа исходных данных (в том числе состояний разработки и производства СИ) формулируют предложения по созданию конкретных перспективных СИ по типовым формам (тактико-техническое задание и др.). Только после уяснения проблемных измерительных задач, подготовки в общем виде тактико-технических требований, требований к функциям и характеристикам перспективных СИ можно переходить к ТЭО разработки. В свою очередь, тактико-технические требования могут удовлетворять либо не удовлетворять требованиям руководящих документов по созданию СИ, а также требованиям, определяемым в ходе анализа состояния парка СИ.

Оценки технического уровня и конкурентоспособности предлагаемого СИ. Для оценки технического уровня можно использовать балльно-индексный метод, применяемый при анализе некоторых технических систем и программных продуктов [1]. Комплексный технический показатель качества образца по группе частных показателей имеет вид

$$K_T = \sum_{i=1}^n B_i k_i$$

где B_i – коэффициент весомости i -го показателя качества в долях единицы, причём $\sum_{i=1}^n B_i = 1$; k_i – относительный

показатель качества, устанавливаемый экспертным путём по выбранной шкале оценивания; n – число рассматриваемых показателей.

Последовательно оценивают комплексные показатели качества предлагаемого к разработке образца K_T^o и примерного аналога K_T^a и находят их отношение $O = K_T^o / K_T^a$. В случае $O > 1$ разработка перспективного СИ с технической точки зрения оправдана.

Рекомендуемая (предлагаемая) номенклатура технических показателей качества, примерных коэффициентов их весомости B_i с использованием общепринятой пятибалльной шкалы оценивания по k_i приведены в таблице, полужирным шрифтом выделен пример её заполнения.

В зависимости от предназначения и вида СИ номенклатура технических показателей качества и весовые коэффициенты могут быть изменены экспертной группой.

Оценка экономической эффективности предлагаемого СИ. В основу оценки экономической эффективности НИОКР может быть положен интегральный показатель $\mathcal{Z}_{\text{НИОКР}}$ – соотношение ожидаемого экономического эффекта от внедрения разрабатываемого образца $\mathcal{Z}_o$ к затратам $\mathcal{Z}$ на его создание и освоение. Так как практикуется параллельное освоение образцов в процессе НИОКР, то $\mathcal{Z} \approx \mathcal{Z}_{\text{НИОКР}}$, тогда $\mathcal{Z}_{\text{НИОКР}} = \mathcal{Z}_o / \mathcal{Z}_{\text{НИОКР}}$.

Затраты на НИОКР могут быть определены как методом прямой калькуляции при известных ориентировочных затратах на комплектующие материалы и оплату труда, так и методом сравнения с аналогом: $\mathcal{Z}_{\text{НИОКР}} = k_n \mathcal{Z}^a$, где k_n – коэффициент, характеризующий новизну создаваемого образца относительно аналога; $\mathcal{Z}^a$ – ориентировочные затраты на создание известного примерного аналога. Если разработка «эволюционная», то $k_n = 1 \dots 1,9$, если «революционная», то $k_n = 2 \dots 4$.

В рассматриваемом случае с учётом результатов сравнительной оценки технического уровня разработки затраты на НИОКР можно оценить как $\mathcal{Z}_{\text{НИОКР}} = O \mathcal{Z}^a$.

Исходные данные по затратам на создание аналога можно получить из открытых материалов федеральных и ведомственных целевых программ, начальных цен госконтрактов при конкурсных процедурах создания СИ и других документов. В простейшем случае для серийных образцов среднего класса сложности справедливо примерное равенство $\mathcal{Z}^a \approx 50 C_{\text{сер}}^a$, где $C_{\text{сер}}^a$ – средняя рыночная стоимость серийного аналога на момент подготовки ТЭО.

Рекомендуемая (предлагаемая) номенклатура технических показателей качества СИ

Технические показатели качества	Коэффициент весомости B_i	Предлагаемое СИ		Примерный аналог	
		k_i	$B \cdot k_i$	k_i	$B \cdot k_i$
Диапазон измерений	0,25	5	1,25	3	0,75
Погрешность измерений	0,25	4	1,00	3	0,75
Функциональность	0,10	3	0,30	1	0,10
Автоматизация	0,05	3	0,15	1	0,05
Надёжность	0,10	4	0,40	1	0,10
Быстродействие	0,05	4	0,20	2	0,10
Стойкость к внешним воздействиям	0,05	5	0,25	2	0,10
Безопасность	0,10	4	0,40	4	0,40
Эргономика	0,01	4	0,04	3	0,03
Технологичность	0,02	4	0,08	1	0,02
Ремонтопригодность	0,01	2	0,02	2	0,02
Массогабаритные характеристики	0,01	4	0,04	2	0,02
Обобщённые показатели качества	—	$K_T^o = 4,13$		$K_T^a = 2,44$	
Отношение показателей качества	—	O = 1,7			

Необходимо тщательно проанализировать экономический эффект от внедрения разрабатываемого образца с целью выявления преимуществ и недостатков такого внедрения и перевода их в денежную форму. Это может быть повышение производительности труда конкретной контрольной операции, снижение стоимости операций контроля в общей стоимости образца, уменьшение потерь от брака и т. п. Монетизацию преимуществ можно провести по экономическим методикам заказчиков исходя из стоимости нормо-часа операций контроля СИ, фонда оплаты труда специалистов и других экономических показателей [2]. Для N составляющих экономии имеем

$$\mathcal{E}_s = \sum_{i=1}^N \mathcal{E}_i,$$

где $\mathcal{E}_i$ – экономия, полученная при монетизации конкретного частного преимущества предложенного к разработке образца по сравнению с прототипом в течение всего срока службы СИ.

Более корректный расчёт $\mathcal{E}_i$ должен учитывать преимущества либо потери, обусловленные повышенной (пониженной) ценой закупки новых образцов и отличий затрат на эксплуатацию новых и устаревших моделей СИ:

$$\mathcal{E}_i = [(C^a t^o / t^a - C^o) + (C_s^a - C_s^o) t + \mathcal{E}_i] M,$$

где t^o , t^a , C^o , C^a , C_s^o , C_s^a – соответственно сроки службы, рыночная стоимость и среднегодовые затраты на эксплуатацию разрабатываемого образца и аналога; $\mathcal{E}_i$ – чистая экономия, полученная при монетизации конкретного частного преимущества, разрабатываемого СИ по отношению к аналогу без учёта разницы их цен и затрат на эксплуатацию; M – планируемое к выпуску количество разрабатываемых СИ – суммарная потребность в СИ.

Для практического применения можно положить $t^o = t^a$, тогда

$$\mathcal{E}_i = [(C^a - C^o) + (C_s^a - C_s^o) t + \mathcal{E}_i] M.$$

Продолжительность НИОКР также важна с экономической точки зрения. Она может быть определена экспертным путём с обработкой результатов по формуле [1]:

$$T_{\text{НИОКР}} = (T_{\min} + 4T_{\text{н.в.}} + T_{\max}) / 6,$$

где $T_{\min}$, $T_{\max}$ – наименьшая и наибольшая продолжительности НИОКР (оценки экспертов оптимиста и пессимиста); $T_{\text{н.в.}}$ – наиболее вероятная продолжительность работы (усреднённая оценка экспертов-реалистов).

В конечном итоге при экономическом обосновании НИОКР необходимо стремиться к следующим значениям: $\mathcal{E}_{\text{НИОКР}} > 1$; $\mathcal{E}_{\text{НИОКР}} \rightarrow \max$; $T_{\text{НИОКР}} \rightarrow \min$.

При ТЭО также следует проанализировать альтернативу «разработка, производство и эксплуатация отечественного СИ – закупка и эксплуатация зарубежного аналога». В общем случае выражение стоимости жизнен-

ных циклов отечественного и зарубежного образцов СИ имеет вид [3]:

$$C_{\Sigma} = C_{\text{НИОКР}} + C_{\text{сер}} + C_{\text{пов}} + C_{\text{рем}} + C_{\text{ТО}} + C_{\text{у}},$$

где $C_{\text{НИОКР}}$ – стоимость НИОКР; $C_{\text{сер}}$ – стоимость закупаемых серийных образцов; $C_{\text{пов}}$ – стоимость поверки парка СИ в процессе эксплуатации; $C_{\text{рем}}$ – стоимость регулировки, ремонта (при необходимости) и послеремонтной поверки парка СИ; $C_{\text{ТО}}$, $C_{\text{у}}$ – стоимости технического обслуживания и утилизации СИ.

Стоимость утилизации невелика и ею можно пренебречь, тогда стоимость жизненного цикла отечественного СИ определяется как

$$C_{\Sigma}^o = C_{\text{НИОКР}} + C_{\text{сер}} + C_{\text{пов}} + C_{\text{рем}} + C_{\text{ТО}} + C_{\text{у}}.$$

Для зарубежных аналогов СИ $C_{\text{НИОКР}} = 0$, тогда

$$C_{\Sigma}^a = C_{\text{сер}} + C_{\text{пов}} + C_{\text{рем}} + C_{\text{ТО}}.$$

Преимущество зарубежного СИ состоит в отсутствии затрат на разработку, а недостаток – в более высокой стоимости поверки (в 3–5 раз), ремонта и технического обслуживания.

Стоимость закупок серийных СИ

$$C_{\text{сер}} = N_{\text{СИ}} C_{\text{СИ}} T_{\text{СИ}},$$

где $N_{\text{СИ}}$ – ежегодная потребность в СИ; $C_{\text{СИ}}$, $T_{\text{СИ}}$ – стоимость и жизненный цикл (обычно 10–15 лет) СИ.

Стоимость годовой поверки парка СИ

$$C_{\text{пов1}} = N C_{\text{пов}}^N T,$$

где $C_{\text{пов}}^N$ – стоимость ежегодной поверки единичного образца.

Тогда стоимость ежегодной поверки всего парка СИ в течение жизненного цикла составит

$$C_{\text{пов}} = C_{\text{пов1}} T = N C_{\text{пов}}^N T^2.$$

Совокупная стоимость технического обслуживания, регулировки, текущего ремонта, а также (при необходимости) среднего и капитального ремонта парка СИ выражается равенством

$$C_{\text{рем}} = N C_{\text{рем}}^N T,$$

где $C_{\text{рем}}^N$ – стоимость технического обслуживания и ремонта единичного образца в течение жизненного цикла.

С учётом приведённых статистических данных альтернатива определяется как

$$A = C_{\Sigma}^a / C_{\Sigma}^o.$$

При $A > 1$ разработка отечественного СИ оправдана.

Результаты расчётов показывают, что допустимой и рентабельной может быть только закупка единичных уникаль-

ных образцов зарубежной измерительной техники для частных применений. В большинстве случаев при разработке отечественного СИ можно достичь годовой экономии средств

$$\mathfrak{Z}_r = (C_{\Sigma}^a - C_{\Sigma}^o) / T.$$

Приведённый к годовой экономии срок окупаемости НИОКР упрощённо можно найти по формуле

$$t_{ок} = C_{НИОКР} / \mathfrak{Z}_r.$$

По результатам разработки ТЭО специалист, принимающий решение о конкретных НИОКР, может рассчитать их рейтинг по сводному интегральному показателю

$$R = O + \mathfrak{Z}_{НИОКР} + A$$

и проранжировать НИОКР в порядке приоритетности постановки и финансирования. При необходимости для повышения объективности анализа ТЭО экспертным путём опреде-

ляются или директивно назначаются весовые коэффициенты частных показателей из формулы для R .

Таким образом, разработана методика ТЭО НИОКР по созданию образцов СИ с заданным уровнем достоверности.

Л и т е р а т у р а

1. **Миньков С. Л.** Техничко-экономическое обоснование выполнения проекта: методическое пособие. Томск: ТУСУР, 2012.
2. **РД 1.12-096–2004.** СТО Газпром. Внутрикorporативные правила оценки эффективности НИОКР [Электрон. версия] gostrf.com>normaldata/1/4993841/4293841821.pdf (дата обращения: 25.03.2017).
3. **Шайко И. А., Шайко Е. И.** Методические аспекты обоснования развития парка отечественных средств измерений для государственных нужд // Вестник метролога. 2011. Вып. 2. С. 5–7.

Дата принятия: 25.05.2017.