

УДК 623.624

Р.С. АНОСОВ, кандидат
технических наук, доцент
Д.М. БЫВШИХ, кандидат
технических наук
А.М. ЖУКОВ

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЗАМЕНЫ ПРИ ОБОСНОВАНИИ СЕРИЙНЫХ ПОСТАВОК ТЕХНИКИ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ

Показана актуальность задачи обоснования предложений в государственную программу вооружения в части серийных поставок техники РЭБ. Доказана возможность применения экономико-математических моделей замены для определения рациональных сроков серийных поставок техники РЭБ при военно-экономическом обосновании предложений в государственную программу вооружения.

Ключевые слова: государственная программа вооружения, радиоэлектронная борьба, экономико-математическая модель замены, серийные поставки.

Боеготовность современных войск радиоэлектронной борьбы (РЭБ) напрямую зависит от своевременных поставок качественной техники РЭБ¹ [1]. В настоящее время речь идет об оснащении войск РЭБ принципиально новой высокотехнологичной техникой, что позволило бы повысить эффективность РЭБ с динамично развивающимися радиоэлектронными средствами и информационно-управляющими системами противника в различных условиях боевой обстановки. Однако существует ряд особенностей, как организационно-технического, так и методического плана, существенно сказывающихся на качестве поставок техники в войска РЭБ. Структура системы вооружения и войск РЭБ постоянно усложняется, разрабатываются новые образцы вооружения.

¹ Буренок В.М. Пути повышения эффективности системы вооружения ВС РФ // Армейский вестник, 14 мая 2014 URL:<https://army-news.ru/2014/05/puti-povysheniya-effektivnosti-sistemy-vooruzheniya-vs-rf/> (Дата обращения 22.12. 2019); Антипов А. У качества нет «второй свежести». Интервью с заместителем начальника Управления начальника вооружения ВС РФ по исследованиям генерал-лейтенантом А.А. Рахмановым // Красная звезда, 24 марта 2005 года.

Это затрудняет проведение военно-экономического обоснования и требует развития количественных методов обоснования предложений в государственную программу вооружения (ГПВ) в части серийных поставок техники РЭБ.

Существующая методология количественного военно-экономического обоснования перспектив развития системы вооружения РЭБ адаптирована, в основном, для определения номенклатуры и сроков проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) в рамках ГПВ [2], а также планов переоснащения однородных типовых воинских формирований (ТВФ) РЭБ [3]. Указанные задачи решаются при использовании единой методической основы – экономико-математических моделей (моделей замены образцов и моделей переоснащения ТВФ). Существующие экономико-математические модели замены образцов позволяют определить оптимальные сроки готовности новых образцов техники РЭБ, экономико-математические модели переоснащения – оптимальные сроки поставки комплектов техники РЭБ в однородные ТВФ РЭБ.

Процедура обоснования номенклатуры НИОКР в ГПВ в интересах создания (модернизации) образцов достаточно отработаны и позволяют отбирать НИОКР в части разработки наиболее эффективных в аспекте боевого применения образцов.

В то же время несмотря на то, что затраты на серийные поставки на порядок превышают затраты на НИОКР, обоснование предложений в ГПВ в части серийных поставок техники РЭБ ведется преимущественно эвристическими (экспертными) методами. При этом в условиях постоянного удорожания средств РЭБ возрастает цена ошибки при формировании программ поставок. Поэтому важной и актуальной является разработка методического обеспечения, которое позволило бы на количественной основе обосновывать предложения по поставкам инновационной техники РЭБ с учетом организационной структуры системы вооружения и войск РЭБ.

Как отмечалось, при обосновании номенклатуры ОКР по созданию нового образца используют модели замены образца. При этом имеется в виду следующее. С течением времени количественные значения показателей затрат и эффективности образца техники РЭБ изменяются. Если затраты, как правило, увеличиваются, то эффективность

снижается в силу объективных причин. При этом будут изменяться (возрастать) и затраты на выполнение задачи РЭБ с требуемым уровнем эффективности. Отметим, что затраты на выполнение задач РЭБ складываются из предстоящих полных затрат на средства РЭБ и затрат на восполнение потерь защищаемого объекта [3]. Задержка с принятием на вооружение нового образца будет связана с увеличением затрат на решение задачи РЭБ, так как радиоэлектронные средства противника совершенствуются и, следовательно, эффективность техники РЭБ падает. Ускорение принятия образца техники РЭБ на вооружение будет также приводить к увеличению затрат на решение задачи РЭБ, т.к. более совершенный, а следовательно, и более дорогой образец будет использоваться там, где еще могли бы использовать более дешевые существующие образцы техники РЭБ.

Так, экономико-математическую модель замены образца техники РЭБ можно записать в виде [4]:

$$C(t_{\text{зам}}) = \sum_{t=t_{\text{нач}}}^{t_{\text{зам}}} C_t^{\text{C}} + \sum_{t=t_{\text{зам}}}^{t_{\text{ок}}} C_t^{\text{H}}, \quad (1)$$

где $C(t_{\text{зам}})$ – стоимость выполнения задачи РЭБ в плановом периоде при условии замены стоящего на вооружении образца новым в момент $t_{\text{зам}}$; C_t^{C} , C_t^{H} – стоимость выполнения задачи РЭБ стоящим на вооружении образцом и новым образцом в момент t соответственно; $t_{\text{нач}}$, $t_{\text{ок}}$ – моменты начала и окончания рассматриваемого периода соответственно.

Затраты на выполнение задачи РЭБ будут минимальными при некотором моменте замены $t_{\text{зам}}^{\text{опт}}$ (рисунок 1), т.е. необходимо найти

$$\min_{t_{\text{зам}}} (\sum_{t=t_{\text{нач}}}^{t_{\text{зам}}} C_t^{\text{C}} + \sum_{t=t_{\text{зам}}}^{t_{\text{ок}}} C_t^{\text{H}}). \quad (2)$$

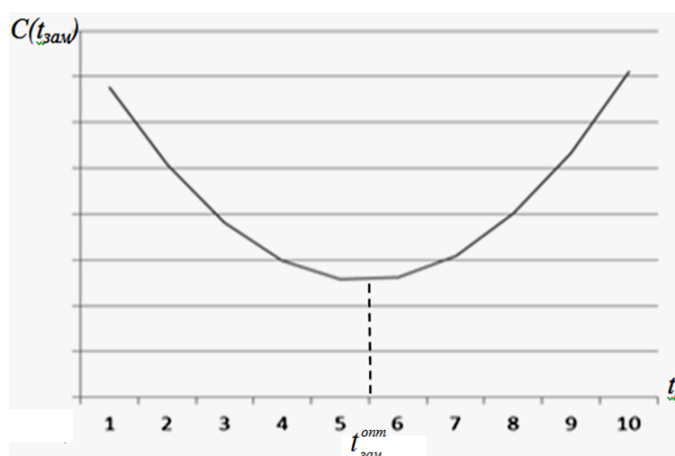


Рисунок 1 – Пример функции затрат и потерь для обоснования замены образца

Аналогичный подход может использоваться и при обосновании рациональных сроков серийных поставок техники РЭБ. В этом случае речь должна идти об экономико-математических моделях замены отдельных изделий. При этом принципиальным отличием задачи обоснования сроков серийных поставок является то, что число изделий образца всегда значительно больше одного, и одноименные изделия могут поставляться в разнородные ТВФ РЭБ.

Поэтому даже для однотипных изделий в условиях ограничений по ресурсам одномоментное изготовление всех изделий невозможно, и замены стоящих на вооружении изделий на новые будут растянуты по времени, а моменты замены отдельных изделий будут, в общем случае, отличны. Так, если для отдельного j -го изделия

$$C^j(t_{\text{зам}}^j) = \sum_{t=t_{\text{нач}}^j}^{t_{\text{зам}}^j} C_t^{\text{jc}} + \sum_{t=t_{\text{зам}}^j}^{t_{\text{ок}}^j} C_t^{\text{jh}}, \quad (3)$$

то общие затраты на выполнение задач РЭБ N изделиями в N ТВЭ определится как сумма

$$Z_{\text{общ}} = \sum_j^N C^j(t_{\text{зам}}^j) = \sum_j^N \left(\sum_{t=t_{\text{нач}}^j}^{t_{\text{зам}}^j} C_t^{\text{jc}} + \sum_{t=t_{\text{зам}}^j}^{t_{\text{ок}}^j} C_t^{\text{jh}} \right). \quad (4)$$

Необходимо отметить, что для модели (4) имеет место упрощение, связанное с предположением использования изделия в отдельных ТВЭ, не пересекающихся с другими в общем множестве ТВЭ. Такое ограничение сокращает область применения модели, но, тем не менее, задача нахождения номенклатуры и сроков поставок, обеспечивающих минимум общих затрат на выполнение задач РЭБ имеет место в реальности. Вопросы обоснования серийных поставок в более сложных случаях, когда изделия используются в различных ТВЭ и поставляются комплектами, будут рассмотрены в дальнейшем.

Вид функции $C^j(t_{\text{зам}}^j)$ определяется видом ТВФ, в котором применяется j -е изделие, и ТВЭ. При линейном изменении эффективности РЭБ вид функции будет иметь минимум в $t_{\text{зам}}^j$, как это отражено на рисунке 2.

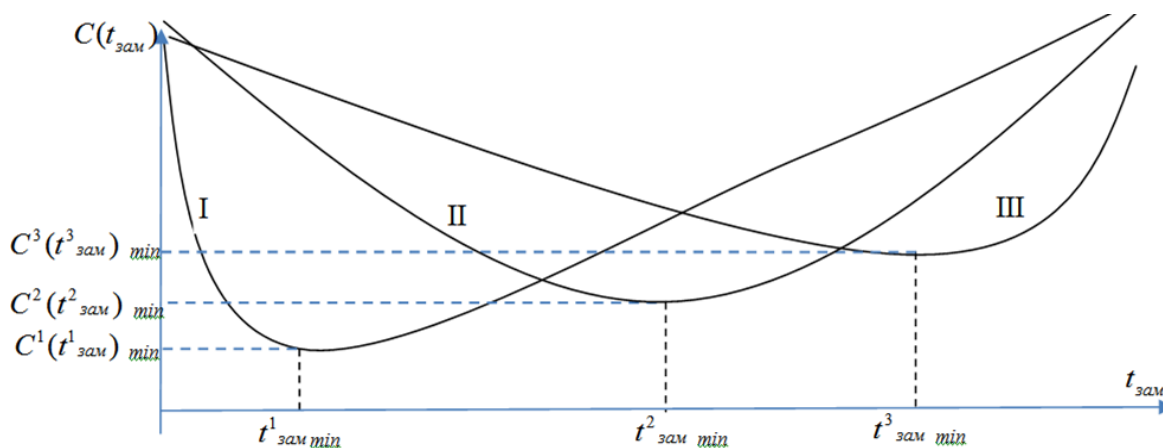


Рисунок 2 – Пример функций затрат на выполнение задач РЭБ при замене изделий для трех различных ТВФ

Задачу формирования раздела ГПВ в части серийных поставок можно формализовать в виде оптимизационной задачи нахождения моментов замены (моментов поставок) предлагаемых для оснащения войск РЭБ изделий, при которых затраты на выполнение задач РЭБ по совокупности изделий минимальны в плановом периоде (для ГПВ – 10-летнем периоде) при существующих ограничениях по выделяемым ресурсам:

найти

$$\min_{t^1_{зам}, t^2_{зам}, t^N_{зам}} \sum_j^N (\sum_{t=t_{нач}}^{t^j_{зам}} C_t^{jC} + \sum_{t=t^j_{зам}}^{t_{ок}} C_t^{jH}), \quad (5)$$

при

$$\sum_j^N 3_t^j(t^j_{зам}) A_t, t = 1, 10, \quad (6)$$

где $\sum_j^N 3_t^j(t^j_{зам})$ – общие требуемые затраты на серийное производство изделий техники РЭБ в t -м году; A_t – выделяемые ассигнования на серийное производство изделий техники РЭБ t -м году; 3_t^j – затраты на j -е изделие в t -м году при замене в момент $t^j_{зам}$, т.е. стоимость серийного образца, если $t = t^j_{зам}$ или 0 в другом случае.

Для иллюстрации задачи рассмотрим следующий гипотетический пример для двух изделий. Пусть предлагается к серийному производству два изделия стоимостью 10 и 15 у.е. Выделяемые ассигнования (на год) составляют 20 у.е. Вариант функций затрат на выполнение задач РЭБ для каждого изделия представлены на рисунке 3.

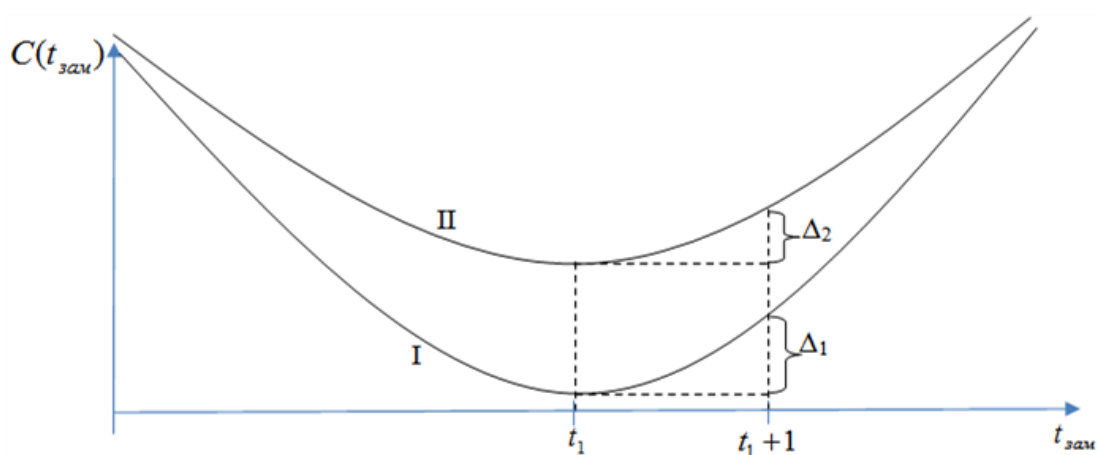


Рисунок 3 – Пример функций затрат на выполнение задач РЭБ от момента замены для двух изделий

В приведенном примере оптимальные моменты замены приходятся на один год. Суммарные затраты на выполнение задач РЭБ двумя изделиями $Z_{\text{общ}}(t_{\text{зам}}^1, t_{\text{зам}}^2) = C^1(t_{\text{зам}}^1) + C^2(t_{\text{зам}}^1)$ отражены на рисунке 4.

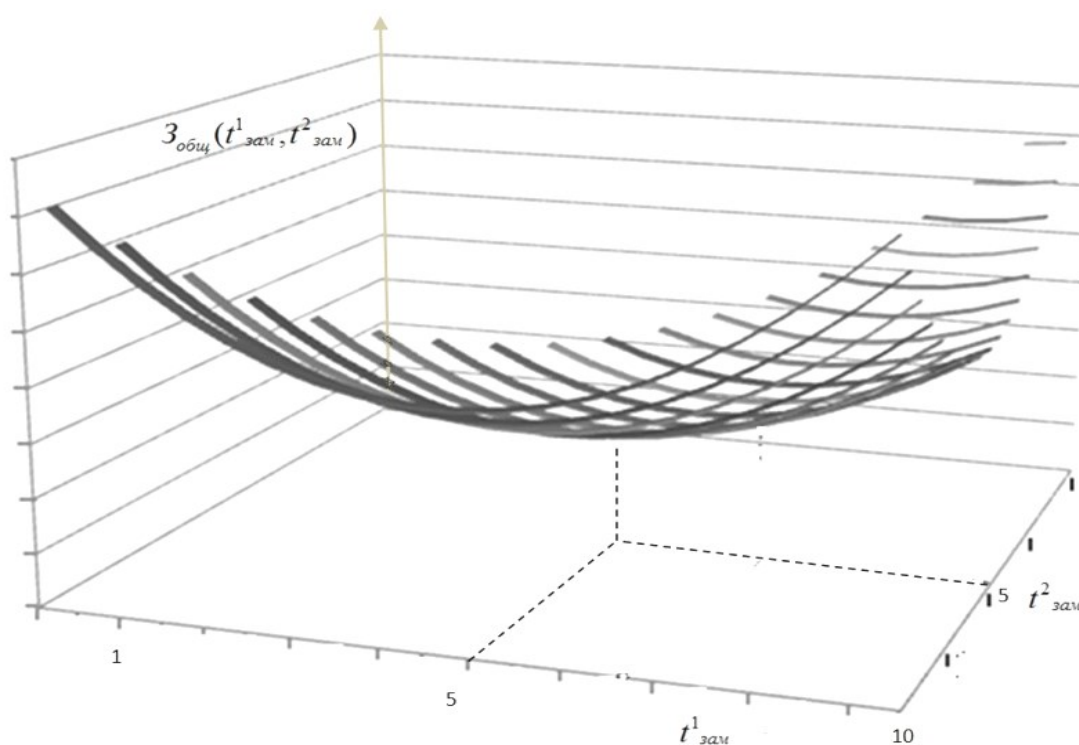


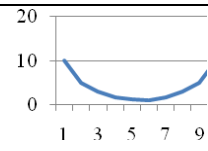
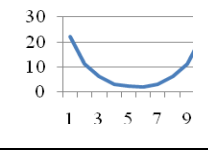
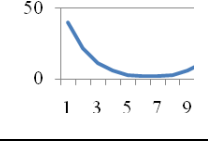
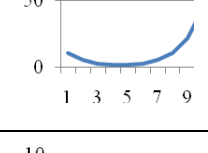
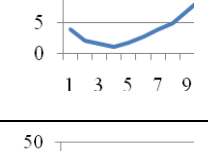
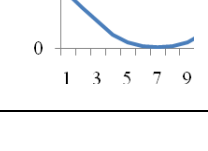
Рисунок 4 – Суммарные затраты на выполнение задач РЭБ двумя изделиями

Как следует из рисунков, оптимальным было бы производство и замена обоих изделий в пятом году планового периода. Однако при этом требуемые ресурсы превышают выделяемые ($10+15>20$). Поэтому производство одного изделия необходимо сдвинуть на более поздний срок (год $t_1 + 1$ на рисунке 3). Поскольку увеличение $Z_{\text{общ}}$ больше при сдвиге срока поставки изделия I, чем при смещении срока поставок изделия II ($\Delta 1 > \Delta 2$ на рисунке 3), то оптимальными сроками замены при выполнении условия (6) будут: 5 год (изделие I) и 6 год (изделие II) планового периода.

Рассмотрим гипотетический пример с учетом ограничений на выделяемые ресурсы (задача (5), (6)).

Пусть предлагается для серийного производства 6 изделий, функции затрат на выполнение задач РЭБ для каждого изделия представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Функции затрат на выполнение задач РЭБ для изделий

Изделие	Стоимость изделия (комплекта) для замены, у.е.	Вид функции	Значения функций по годам замены, у.е.									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,012		10,0	5,0	3,0	1,5	1,2	1,0	1,5	3,0	5,0	10,0
2	0,012		22,0	11,0	6,0	3,0	2,1	2,0	2,8	6,0	11,0	22,0
3	0,013		40,0	22,0	11,0	6,0	2,8	2,0	2,05	2,8	6,0	11,0
4	0,015		11,0	6,0	2,8	2,0	2,2	2,8	6,0	11,0	22,0	44,0
5	0,015		4,0	2,0	1,5	1,0	1,7	2,8	4,0	5,0	7,0	9,0
6	0,02		40,0	30,0	20,0	10,0	5,0	2,0	1,5	2,0	5,0	11,0

Решая задачу (5), (6) многократно при различных уровнях ограничений по выделяемым на год ресурсам A_t , получаем следующие результаты, представленные в таблице 2.

Анализ полученных решений позволяет сделать вывод, что ужесточение ограничений по выделяемым ресурсам ведет к сдвигу сроков серийных поставок техники РЭБ на более поздние. Сдвиг осуществляется, в первую очередь, для изделий, у которых смещение срока поставки на более поздний ведет к меньшему росту суммарных затрат на выполнение задач РЭБ.

Таким образом, предложенный подход, основанный на применении экономико-математических моделей замены изделий, позволит наиболее целесообразно расходовать выделяемые ресурсы при обосновании предложений в ГПВ по серийным поставкам техники РЭБ.

Таблица 2 – Результаты решения задачи

Изделие	Положение минимума функции (год программного периода)	Год производства изделия при минимальной суммарной стоимости выполнения задач РЭБ при различных уровнях ограничений по выделяемым на год ресурсам					
		Без ограничений	$A_t = 0,04$ у.е.	$A_t = 0,035$ у.е.	$A_t = 0,03$ у.е.	$A_t = 0,025$ у.е.	$A_t = 0,021$ у.е.
1	6	6	6	6	6	6	9
2	6	6	6	6	6	6	6
3	6	6	6	7	7	7	7
4	4	4	4	4	4	5	5
5	4	4	4	4	4	4	4
6	7	7	7	7	8	8	8
$Z_{общ}$		9,5	9,5	9,55	10,05	10,25	14,25

Список использованных источников

1. Бобрик И.П., Ветрюк Р.Ю., Шипунов А.С. Переоснащение парка отдельного типа вооружения, военной и специальной техники в условиях ограниченного финансирования // Вооружение и экономика. 2012. №3. – С. 34-41.
2. Луценко А.Д., Орлов В.А., Аносов Р.С. Методологические аспекты обоснования стратегий развития системы вооружения радиоэлектронной борьбы на долгосрочную перспективу // Вестник Академии военных наук. 2017. №3. – С. 81-90.
3. Козирацкий Ю.Л., Луценко А.Д., Маевский Ю.И., Орлов В.А. Оценка технико-экономической эффективности переоснащения типовых организационных единиц радиоэлектронной техники специального назначения // Вооружение и экономика. 2008. №3. – С. 22-30.
4. Луценко А.Д. Основы военно-экономического обоснования стратегии развития системы вооружения радиоэлектронной борьбы Вооруженных Сил Российской Федерации: монография / А.Д. Луценко, В.А. Орлов, Д.М. Бывших. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2018. – 327 с.