

А.А.Пьянков, кандидат технических наук,
доцент

Применение интервальных методов в задачах планирования развития системы вооружения в условиях неопределенности¹

В статье рассмотрены интервальные математические методы, предполагающие знание только диапазонов изменения неизвестных параметров. При этом статистические функции распределения значений параметров внутри своих интервалов считаются неизвестными. Использование интервальных методов продемонстрировано на примере моделирования технического обеспечения ВС РФ. При этом рассмотрены примеры с одним и двумя неопределенными параметрами, заданными различными диапазонами возможных значений. Получены зависимости результирующей эффективности от величины интервала неопределенного параметра, на которых показана степень влияния неопределенности исходных данных на выходные показатели результирующей эффективности.

Ключевым документом программно-целевого планирования развития системы вооружения Вооруженных Сил Российской Федерации является государственная программа вооружения (ГПВ), которая представляет собой долгосрочный плановый документ, содержащий согласованный по целям, ресурсам и срокам осуществления комплекс работ по созданию, производству и поддержанию в боеготовом состоянии ВВТ, обеспечивающих решение задач ВС РФ [1].

Согласно «Правилам разработки и реализации государственной программы вооружения», утвержденным Указом Президента Российской Федерации от 2 июля 2013 г. № 599, ГПВ разрабатывается на основе единой системы исходных данных для программно-целевого обеспечения реализации военно-технической политики РФ (ЕСИД), а также прогноза макроэкономических показателей социально-экономического развития РФ и расходов бюджетных ассигнований в сфере национальной обороны. Основными элементами ЕСИД, необходимыми для формирования ГПВ, являются:

- военно-стратегические и оперативные исходные данные, разрабатываемые на основе прогноза характера возможных войн и во-

оруженных конфликтов, вероятного боевого состава группировок вооруженных сил вероятного противника, а также тактико-технических требований к образцам ВВТ;

- военно-технические исходные данные, включающие прогноз динамики технического состояния образцов ВВТ на 10-летний период;

- технико-экономические исходные данные, содержащие прогнозные значения стоимостных и временных параметров стадий жизненного цикла образцов ВВТ на 10-летний период.

Таким образом, основой исходных данных, необходимых для формирования ГПВ, является военно-стратегический, военно-технический и военно-экономический прогнозы. Однако построение практически любых прогнозов на долгосрочную перспективу осложнено влиянием огромного количества разнородных внешних и внутренних факторов и очевидной неполнотой информации о характере воздействия данных факторов и их внутренней взаимосвязи. В итоге может оказаться, что некоторый фактор, казавшийся при планировании ничтожным и не принятый во внимание, в дальнейшем при реализации

1 Статья подготовлена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК-359.2013.10.

плана становится определяющим, и тогда требуется серьезная корректировка этого плана или разработка принципиально нового [3].

Вместе с тем с каждым циклом формирования ГПВ в состав ЕСИД включается все больше параметров. Это в первую очередь обусловлено желанием разработчиков учесть как можно больше факторов, влияющих на развитие системы вооружения. При этом включение каждого нового параметра в ЕСИД, с одной стороны, увеличивает ее полноту, т. е. снижает неопределенность, а с другой – увеличивает общую ошибку результата, связанную с недостоверностью исходных

данных. Это дает основания говорить об оптимальной структуре ЕСИД, при которой достигается наименьшая степень общей неопределенности расчетных вариантов ГПВ.

На рисунке 1 представлен схематичный график зависимости результирующей неопределенности от числа параметров, используемых в ЕСИД. Кривая 1 отражает изменение количества используемых параметров. Естественно, что при отсутствии переменных ($m=0$) неопределенность максимальна, т. е. равна единице. С ростом их количества неопределенность снижается по экспоненте [4].

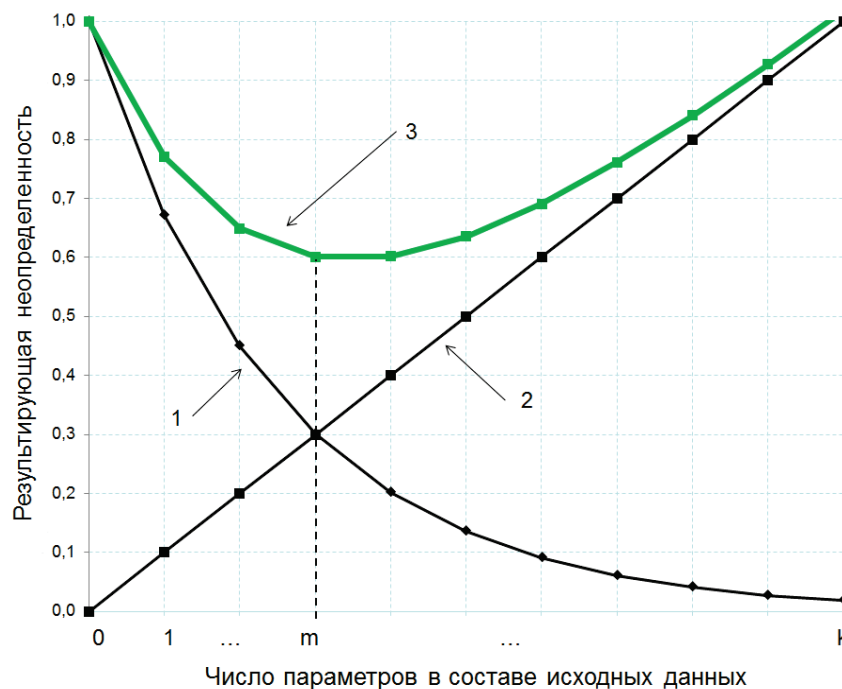


Рисунок 1 – Схематичный график зависимости неопределенности от числа параметров исходных данных

Кривая 2 отражает изменение неопределенности, связанное с суммарной ошибкой измерения параметров ЕСИД. Она построена в предположении, что все параметры заданы с одинаковой степенью точности. Кривая 3 равна сумме двух предыдущих кривых, при этом в точке m она достигает своего минимума. Увеличение числа переменных сверх этого значения не снижает неопределенность, т.к. при этом начинает превалировать вклад неточностей в исходных данных.

В научной литературе используется различная классификация неопределенностей [5]. Рассматривая исходные данные для формирования ГПВ, следует выделить два основных вида неопределенностей. Первый из них, так называемая «статистическая неопределенность» – неопределенность получения конечного результата недетерминированного или случайного процесса при условии, что вероятностные параметры рабочих характеристик точно известны. Таким образом, статисти-

ческая неопределенность характеризуется вероятностью риска, завязанного с ошибками в оценивании случайного процесса. Примерами неопределенностей такого рода являются: значения тактико-технических характеристик образцов ВВТ, достигнутых при их разработке и производстве, интенсивность выхода образцов ВВТ из строя, интенсивность списания образцов ВВТ. Для снятия этих неопределенностей используются известные методы анализа вероятностных процессов и нечетких множеств, при которых эффективность системы можно предсказать только статистически (при условии, если имеется абсолютная уверенность в вероятностном характере различных событий) [6, 7].

Второй вид представляет собой «нестатистическую неопределенность» – неопределенность в оценке эффективности системы, обусловленную незнанием точных распределений вероятностей всех происходящих процессов, возможностей потенциального противника или путей использования этих возможностей. Некоторые авторы термин «неопределенность» используют для характеристики именно таких явлений. К таким неопределенностям можно отнести боевые возможности группировки войск, стоимость закупки или ремонта перспективных образцов ВВТ, находящихся на стадии разработки. Учет именно таких неопределенностей на сегодняшний день и составляет основную проблему при планировании и обосновании программ и планов развития системы вооружения РФ.

Таким образом, высокий уровень неопределенности, ограниченная возможность наблюдений и измерений, динамичность и нестационарность происходящих военно-политических, военно-технических и экономических процессов затрудняют нахождение статистических оценок параметров, определение субъективных вероятностей или мер принадлежности нечетких множеств с достаточной степенью обоснованности. В этих ситуациях более предпочтительно применение интер-

вальных математических методов, предполагающих знание только диапазонов (интервалов) изменения неизвестных параметров [8-10]. При этом статистические функции распределения значений параметров внутри своих интервалов считаются неизвестными. Интервальный подход к описанию факторов неопределенности и принятию решений в области развития системы вооружения еще не получил широкого применения. Однако, как показывает исследование, он достаточно эффективен в смежных сферах жизнедеятельности, особенно в экономике в условиях ограниченной исходной информации.

Применение метода интервального моделирования рассмотрено на примере задачи выбора оптимального варианта развития системы вооружения в условиях неопределенностей военно-технических и технико-экономических исходных данных. В качестве базовой рассмотрена упрощенная модель технического обеспечения ВС РФ [11].

Условия задачи. Рассматривается группировка войск, включающая в себя m различных типов ВВТ численностью N_i , $i = \overline{1, m}$, необходимых для решения заданного объема боевых задач. Каждый образец ВВТ характеризуется величиной боевого потенциала, который определяется максимальной интенсивностью поражающего действия по типовым объектам поражения с учетом частоты применения по ним.

Любой образец ВВТ, находящийся в войсках, может находиться в следующих несовместных состояниях:

S_0 – исправное (работоспособное) состояние при пребывании его в режиме хранения;

S_1 – исправное (работоспособное) состояние при нахождении в режиме боеготовности;

S_2 – неисправное (неработоспособное) состояние, требующее ремонта определенного вида;

S_3 – неисправное состояние, требующее списания и последующую утилизацию (рисунок 2).

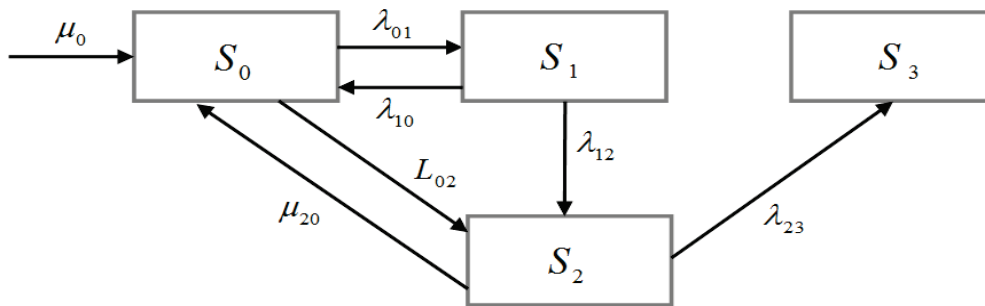


Рисунок 2 – Граф состояний образца ВВТ

На графе обозначены:

- μ_0 – интенсивность поступления новых образцов ВВТ;
- λ_{02} – интенсивность отказов образцов ВВТ, находящихся на хранении;
- λ_{12} – интенсивность отказов образцов ВВТ, находящихся в боеготовом состоянии;
- μ_{20} – интенсивность восстановления образцов ВВТ средствами ремонта;

- λ_{01} – интенсивность перевода образцов ВВТ в боеготовое состояние;
- λ_{10} – интенсивность перевода образцов ВВТ в состояние хранения;
- λ_{23} – интенсивность отхода образцов ВВТ в утилизацию.

В соответствии с графом состояний (рисунок 2) выпишем систему уравнений для средних численностей образцов ВВТ определенного типа, находящихся в различных состояниях:

$$\begin{aligned} \frac{dn_0(t)}{dt} &= -(\lambda_{01} + \lambda_{02})n_0(t) + \lambda_{10}n_1(t) + \mu_{20}n_2(t) + \mu_0(t); \quad n_0(0) = N_0; \\ \frac{dn_1(t)}{dt} &= -(\lambda_{10} + \lambda_{12})n_1(t) + \lambda_{01}n_0(t); \quad n_1(0) = N_1; \\ \frac{dn_2(t)}{dt} &= -(\mu_{20} + \lambda_{23})n_2(t) + \lambda_{02}n_0(t) + \lambda_{12}n_1(t); \quad n_2(0) = N_2; \\ \frac{dn_3(t)}{dt} &= -\lambda_{23}n_2(t); \quad n_3(0) = N_3; \\ n_0(t) + n_1(t) + n_2(t) + n_3(t) &= N(t). \end{aligned} \tag{1}$$

Система уравнений (1) имеет поглощающее состояние S_3 и входной поток интенсивности μ_0 из внешнего источника. В связи с этим суммарная численность образцов ВВТ $N(t)$, находящихся в разных состояниях, является переменной величиной. Она может возрастать, если интенсивность закупки будет выше, чем отход на утилизацию, и убывать в противном случае. Процесс не имеет стационарного распределения численностей образцов ВВТ в разных состояниях. Это приводит к тому, что при несогласованности интенсивностей поставки μ_0 и отхода в утилизацию λ_{23} , моделируемый процесс может принять вырожденный характер, в результате чего в погло-

щающем состоянии будет сосредоточена вся численность образцов ВВТ.

Поскольку интенсивности λ_{01} , λ_{02} , λ_{12} и λ_{13} определяются на основе статистических данных, получаемых из войск [12], определить точное их значение может быть весьма затруднительно в виду отсутствия полной и точной исходной информации. В этом случае интенсивность λ_i может быть представлена в виде ограниченного интервала ее неопределенности $[\lambda_i] = [\lambda_i | \lambda_i \leq \lambda_i \leq \bar{\lambda}_i]$, задаваемой нижней и верхней границами λ_i , $\bar{\lambda}_i$, где $mid[\lambda_i] = (\lambda_i + \bar{\lambda}_i) / 2$ – середина интервала $[\lambda_i]$, а величина $\Delta_i = \bar{\lambda}_i - \lambda_i$ – есть интервал (рисунок 3).

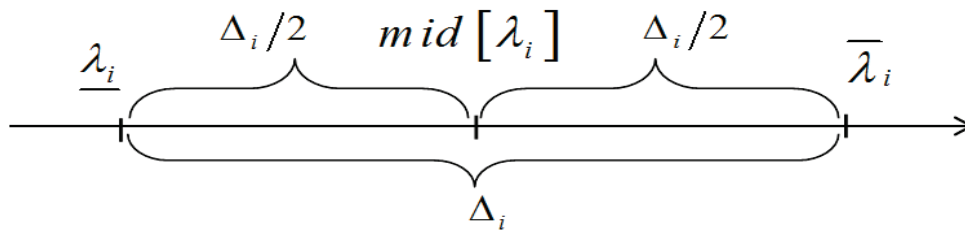


Рисунок 3 – Изображение интервального параметра $[\lambda_i]$ на числовой прямой

Для дальнейшего анализа систему дифференциальных уравнений (1) представим в виде дискретного процесса с интервалом дискретизации Δt , полагая $t=1,2,\dots,T$, $\frac{dn(t)}{dt}=n(t)-n(t-1)$. Для практических рас-

четов интервал дискретности Δt принимается равным одному году [11]. При этом интенсивности λ_i представляются в виде интервальных величин $[\lambda_i]=[\lambda_i; \bar{\lambda}_i]$. В этом случае получаем систему интервальных уравнений:

$$\begin{aligned} [n_0(t)] &= (1 - [\lambda_{01}] + [\lambda_{02}])n_0(t-1) + [\lambda_{10}]n_1(t) + \bar{\mu}_{20}n_2(t-1) + \bar{\mu}_0(t); \\ [n_1(t)] &= (1 - [\lambda_{10}] + [\lambda_{12}])n_1(t-1) + [\lambda_{01}]n_0(t-1); \\ [n_2(t)] &= (1 - \bar{\mu}_{20} - [\lambda_{23}])n_2(t-1) + [\lambda_{02}]n_0(t-1) + [\lambda_{12}]n_1(t-1); \\ [n_3(t)] &= 1 - [\lambda_{23}]n_2(t-1); n_3(0) = N_3; \\ [n_0(t)] + [n_1(t)] + [n_2(t)] + [n_3(t)] &= [N(t)]; \\ n_0(0) = N_0; n_1(0) = N_1; n_2(0) = N_2; n_3(0) = N_3. \end{aligned} \tag{2}$$

Полученная модель позволяет проводить анализ влияния мероприятий технического обеспечения ВС РФ по ремонту и поставке ВВТ на показатели исправности, боеготовности и боевого потенциала войск в условиях неопределенности исходных данных, а также определять полные затраты на техническое обеспечение ВС РФ в течение рассматриваемого периода времени.

Исправность парка ВВТ характеризуется коэффициентом исправности

$$K_{и}(t) = \frac{n_0(t) + n_1(t)}{N_{\phi}(t)}, \tag{3}$$

а боеготовность – коэффициентом боеготовности

$$K_{бр}(t) = \frac{n_1(t)}{n_0(t) + n_1(t)}, \tag{4}$$

где $\mu_0'(t) = \sum_{k=1}^t \bar{\mu}_0(k)$ – численность закупленных новых образцов ВВТ к текущему моменту времени.

где $N_{\phi}(t) = n_0(t) + n_1(t) + n_2(t)$ – текущая численность группировки.

Боевой потенциал ВВТ группировки зависит от боевых потенциалов образцов ВВТ и их относительной численности в составе группировки. Будем считать, что боевые потенциалы различных образцов ВВТ измерены относительно некоторых эталонных образцов и заданы своими коэффициентами $K_{бп}$. Обозначим $K_{бп}^{(0)}$ – коэффициент боевого потенциала штатного образца ВВТ, $K_{бп}^{(1)}$ – коэффициент боевого потенциала поставленного нового образца ВВТ. Тогда среднее значение коэффициента боевого потенциал ВВТ группировки составит:

$$K_{бп}(t) = K_{бп}^{(0)} \frac{N'(t) - \mu_0'(t)}{N'(t)} + K_{бп}^{(1)} \frac{N'(t) - \mu_0'(t)}{N'(t)}, \tag{5}$$

Затраты на техническое обеспечение ВС РФ $C_{\Sigma}(T)$ определяются как:

$$C_{\Sigma}(T) = C_c(T) + C_{то}(T), \tag{6}$$

где $C_c(T)$ – затраты на содержание ВВТ в различных состояниях;

$C_{TO}(T)$ – затраты, связанные с выполнением мероприятий по закупке новых образцов ВВТ, ремонту и утилизации существующих [5].

Примем допущение о том, что затраты на содержание одного образца ВВТ на хранении, в ожидании ремонта и утилизации одинаковы и линейно зависят от времени нахождения образца ВВТ в данном режиме. Тогда величина затрат на содержание образца ВВТ в различных состояниях за время программного периода T составит:

$$C_c(T) = c_0(n_0(T) + n_1(T) + n_3(T)) + c_2 n_2(T), \quad (7)$$

где c_0 – затраты на содержание образца ВВТ в единицу времени;

c_2 – затраты на содержание образца ВВТ в боеготовом состоянии в единицу времени, при этом $c_2 > c_0$.

Вторая группа затрат, связанных с выполнением мероприятий технического обеспечения, будем полагать, также линейные, но относительно численности образцов ВВТ. Полные затраты на ремонт, утилизацию и закупку образцов ВВТ за время T составят:

$$C_{TO}(T) = d(T)(c_2 n_2(T) + c_3 n_3(T) + c_4 \bar{\mu}_0(T)), \quad (8)$$

где $d(T)(1+[E])^t$ – коэффициент дефляции, $[E]$ – средний уровень инфляции, являющийся также интервальной величиной и учитываемый при планировании технического обеспечения ВС РФ;

c_2, c_3, c_5 – затраты на ремонт, утилизацию и закупку ВВТ соответственно, приходящиеся на один образец ВВТ.

В рамках классической постановки задачи оптимизации требуется сформировать вариант управления

$$U(t) = (\mu_0(t), \mu_{20}(t)), t = 1, \dots, T,$$

обеспечивающий: выполнение нормативных требований по численности \hat{N} и боеготовности ВВТ $\hat{K}_{БР}$ в каждый текущий момент времени, достижение требуемого уровня боевого потенциала $\hat{K}_{БР}$ к концу программного пери-

ода при минимизации суммарных затрат $C_\Sigma(U(T))$ и а реализацию мероприятий по ТО. В случае, когда задан лимит ассигнований $C_\Sigma(U(T)) < \hat{C}_\Sigma$, выделяемых на мероприятия по ТО, в качестве критерия оптимизации может быть выбран максимум боевых возможностей группировки войск $K_{БР}(U(T)) \Rightarrow \max_{u(T)}$.

С учетом наличия неопределенностей ряда характеристик модели, при которых известны лишь интервалы изменения неизвестных параметров, основная задача анализа состоит в определении чувствительности этих характеристик, то есть в определении зависимости результирующей эффективности системы от изменения исследуемой характеристики во всем возможном диапазоне. Цель такого анализа состоит в доказательстве того, что предлагаемый вариант управления

$$U(t) = (\mu_0(t), \mu_{20}(t)), t = 1, \dots, T$$

является предпочтительным при заданных критериях, несмотря на неопределенность сведений о численных значениях некоторых рабочих характеристик, так как даже при самых неблагоприятных возможных значениях этих характеристик вариант будет предпочтительным.

Рассмотрим влияние факторов неопределенности исходных данных на результирующую эффективность системы технического обеспечения. Исходные данные для расчета представлены в таблице 1.

Требуется определить степень влияния неопределенности параметра λ_{12} , заданного диапазоном возможных значений $[0,07; 0,17]$, на результирующую эффективность, определяемую параметрами боеготовности ВВТ, боевого потенциала и общими затратами на техническое обеспечение ВС РФ при следующих ограничениях: $K_{БР}(t) > 0,5$; $K_{БР}(T) > 1,1$ и $C_\Sigma(T) < 7000,0$.

В результате моделирования были получены динамики изменения исправности парка ВВТ, боеготовности ВВТ, коэффициента боевого потенциала и общих затрат при всех возможных значениях λ_{12} , (рисунок 4). Как

видно из графиков, неопределенность в исходных данных, в данном случае λ_{12} , приводит к интервальным значениям выходных па-

раметров. При этом с каждым шагом моделирования интервалы становятся шире.

Таблица 1 – Исходные данные примера

Параметр	Обозначение	Значение
Шаг моделирования	Δt	1 год
Временной интервал моделирования	T	10 лет
Общая численность ВВТ	N	500
Начальная численность исправного ВВТ (хранение)	$n_0(0)$	100
Начальная численность боеготового ВВТ	$n_1(0)$	350
Начальная численность неисправного ВВТ (ремонт)	$n_2(0)$	50
Начальная численность неисправного ВВТ (утилиз.)	$n_3(0)$	0
Интенсивность перевода ВВТ в боеготовое состояние	λ_{01}	$0,35+0,05 \Delta t$
Интенсивность перевода ВВТ в состояние постоянной готовности (хранение)	λ_{10}	0,05
Интенсивность отказов ВВТ, находящихся на хранении	λ_{02}	0,04
Интенсивность отказов ВВТ, находящихся в боеготовом состоянии	λ_{12}	[0,07; 0,17]
Интенсивность восстановления ВВТ средствами ремонта	μ_{20}	0,35
Интенсивность отхода ВВТ в утилизацию	λ_{23}	0,07
Интенсивность поступления нового ВВТ	μ_0	$10+5 \Delta t$
Боевой потенциал штатного образца ВВТ	$K_{БП}^{(0)}$	0,8
Боевой потенциал нового образца ВВТ	$K_{БП}^{(1)}$	1,6
Стоимость содержания одного образца ВВТ в части	c_0	0,1 усл. ед.
Стоимость содержания одного образца ВВТ в части в боеготовом состоянии	c_1	0,2 усл. ед.
Стоимость ремонта	c_2	3 усл. ед.
Стоимость закупки	c_4	8 усл. ед.

В итоге за время T параметры, характеризующие боеготовность ВВТ, боевой потенциал и общие затраты на техническое обеспечение ВС РФ, приняли следующие значения:

$$K_{БГ}(t)=[0,53; 0,68],$$

$$K_{БП}(T)=[1,13; 1,16],$$

$$C_{\Sigma}(T)=[5958,8; 6655,4].$$

Тем не менее, из графиков рисунка 4 видно, что все возможные варианты удовлетворяют заданным условиям задачи, поскольку:

$$\min(K_{БГ}(t))=0,51 > 0,5;$$

$$\min(K_{БП}(T))=1,14 > 1,1;$$

$$\max(C_{\Sigma}(T))=6655,4 < 7000,0.$$

Поэтому в данном случае неопределенность интенсивности отказов ВВТ, находящихся-

ся в боеготовом состоянии λ_{12} , определенная интервалом [0,07; 0,17], не влияет на результирующую эффективность и ею можно пренебречь.

Повторим эксперимент, но при большей неопределенности $\lambda_{12}=[0,07; 0,37]$. Результаты моделирования представлены на рисунке 5, из которых видно, что интервалы возможных значений параметров: $K_{БГ}(t)$, $K_{БП}(T)$ и $C_{\Sigma}(T)$ значительно увеличились:

$$K_{БГ}(t)=[0,37; 0,68],$$

$$K_{БП}(T)=[1,13; 1,18],$$

$$C_{\Sigma}(T)=[5958,8; 7416,9].$$

Но в этом случае, в отличие от предыдущего примера, часть вариантов не удовлетво-

ряют заданным требованиям: $K_{БГ}(t) > 0,5$; $K_{БП}(T) > 1,1$ и $C_{\Sigma}(T) < 7000,0$. Следовательно, интервал неопределенности $\lambda_{12} = [0,07; 0,37]$ имеет существенное значение при решении задачи выбора оптимально-

го варианта ТО, поэтому эта неопределенность должна быть разрешена с использованием какой-либо дополнительной информации.

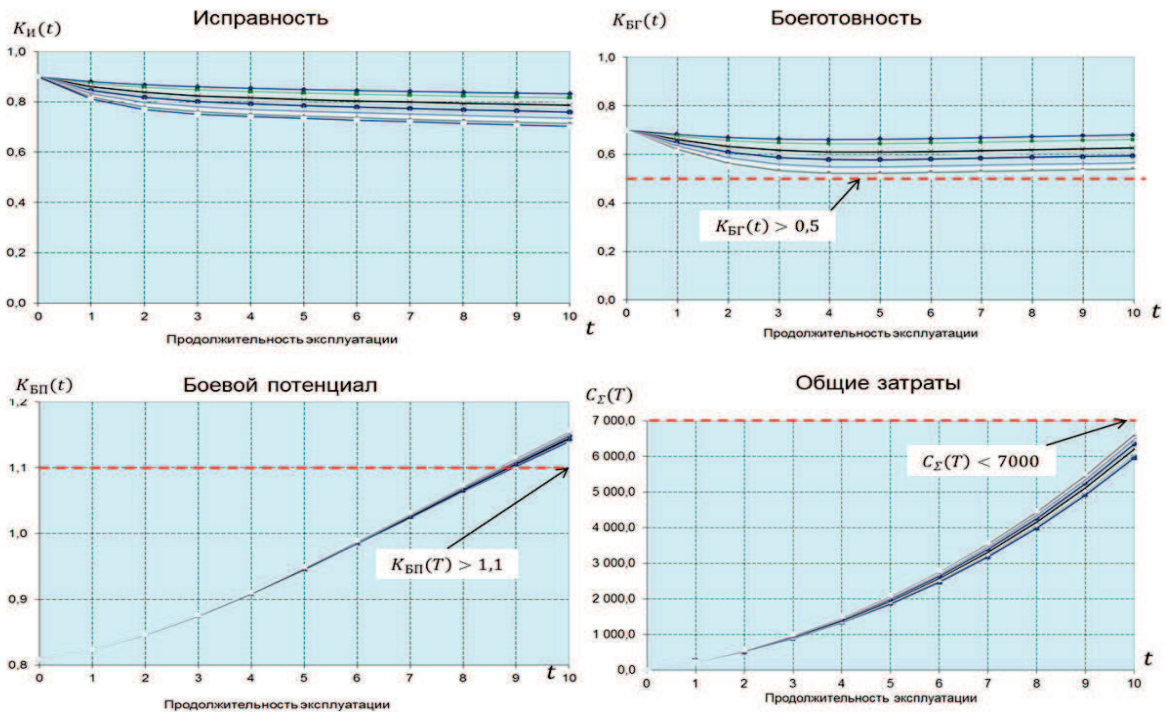


Рисунок 4 – Динамики изменения исправности парка ВВТ, боеготовности ВВТ, коэффициента боевого потенциала и общих затрат при интервальном значении $\lambda_{12} = [0,07; 0,17]$

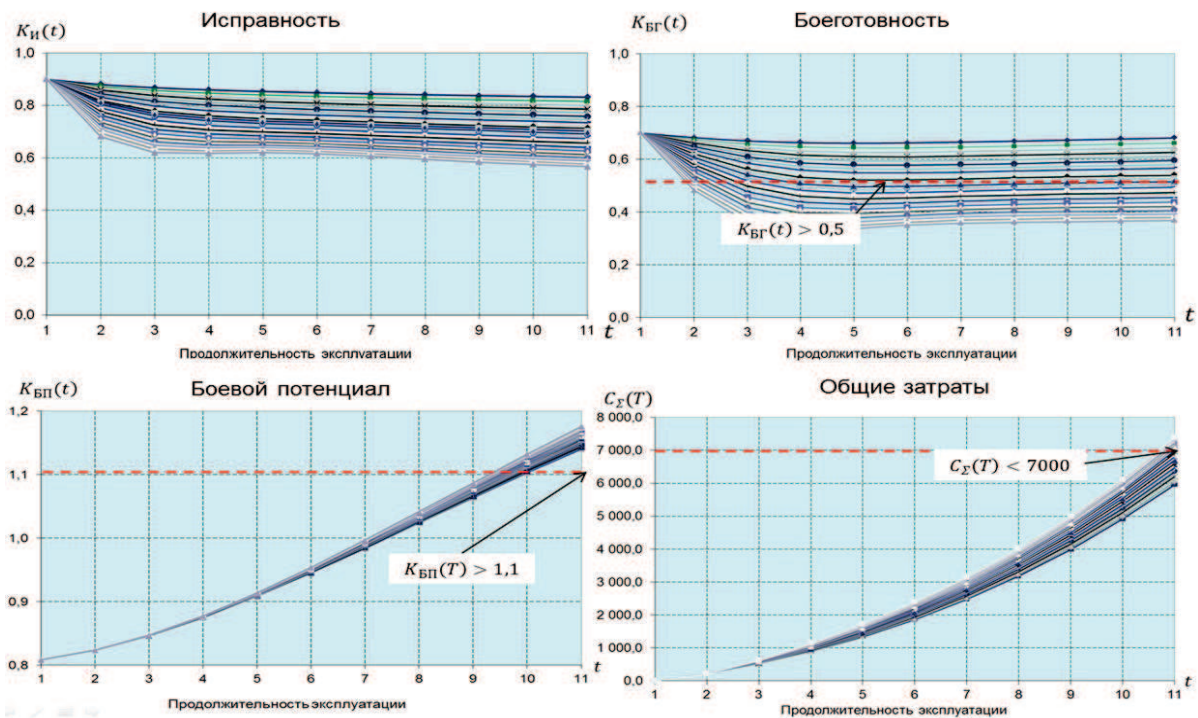


Рисунок 5 – Динамики изменения исправности парка ВВТ, боеготовности ВВТ, коэффициента боевого потенциала и общих затрат при интервальном значении $\lambda_{12} = [0,07; 0,37]$

Проведя серию экспериментов, можно получить зависимость результирующей эффективности от величины интервала неопределенного параметра (рисунок 6). В данном слу-

чае получены нелинейные монотонные функции, которые вполне объясняются расчетными соотношениями (1-8).

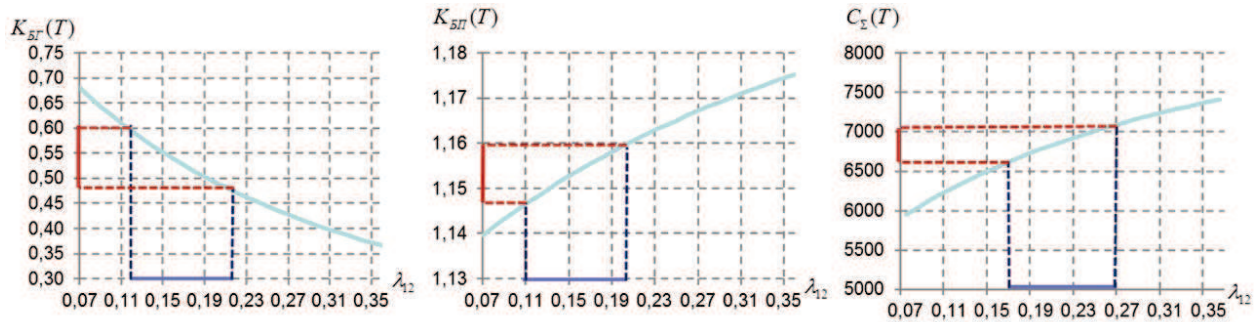


Рисунок 6 – Зависимость результирующей эффективности от величины интервала неопределенного параметра

Рассмотрим еще один пример, в котором два параметра характеризуются неопределенностью: λ_{12} и c_2 – стоимость ремонта одного образца ВВТ.

Неопределенность затрат на ремонт ВВТ может быть обусловлена варьированием накладных расходов, расхождением планируемого и фактического индекса-дефлятора, удорожанием расходных материалов, ростом заработной платы по регионам. Допустим $\lambda_{12}=[0,07;0,17]$, а $c_2=[3;5]$.

В результате моделирования были получены динамики изменения исправности пар $n_2 \cdot c_2 = [\min(n_2 \cdot c_2, n_2 \cdot \bar{c}_2, \bar{n}_2 \cdot c_2, \bar{n}_2 \cdot \bar{c}_2), \max(n_2 \cdot c_2, n_2 \cdot \bar{c}_2, \bar{n}_2 \cdot c_2, \bar{n}_2 \cdot \bar{c}_2)]$, где c_2 – интервально заданный параметр, а n_2 зависит от параметра λ_{12} , который также задан интервально.

В этом случае решение задачи удовлетворяет условиям: $K_{бр}(t) > 0,5$ и $K_{бп}(T) > 1,1$, однако не удовлетворяет условию $C_{\Sigma}(T) < 7000$, поэтому необходимо либо изменить критерий решения задачи, либо снизить неопределенность исходных данных.

Приведенные иллюстративные примеры показывают, что применение интервальных методов позволяет снять многие проблемы и методические сложности, возникающие при решении задач программно-целевого плани-

ка ВВТ, боеготовности ВВТ, коэффициента боевого потенциала и общих затрат при всех возможных значениях: λ_{12} и c_2 , (рисунок 7). При этом отмечается, что интервальные значения $K_{бр}(t)$ и $K_{бп}(T)$ остались такими же, как и в первом примере с одним интервальным параметром $\lambda_{12}=[0,07;0,17]$. Вместе с тем значительно увеличился интервал величины, характеризующей общие суммарные затраты: $C_{\Sigma}(T)=[5958,8;7836,2]$. Это объясняется тем, что при расчете $C_{\Sigma}(T)$, согласно (8) осуществляется перемножение интервалов по следующему правилу:

рования развития системы вооружения в условиях неопределенностей исходной информации.

В рамках интервального анализа неопределенность исходных данных может иметь разные источники и природу. Интервал неопределенности позволяет описать широкий класс неопределенных, неоднозначных, переменных и неточных исходных данных. Значения ошибок в исходных данных могут колебаться в широких пределах. Результаты, полученные с помощью предлагаемого подхода, имеют ясную и четкую интерпретацию в терминах интервалов и областей неопределенности.

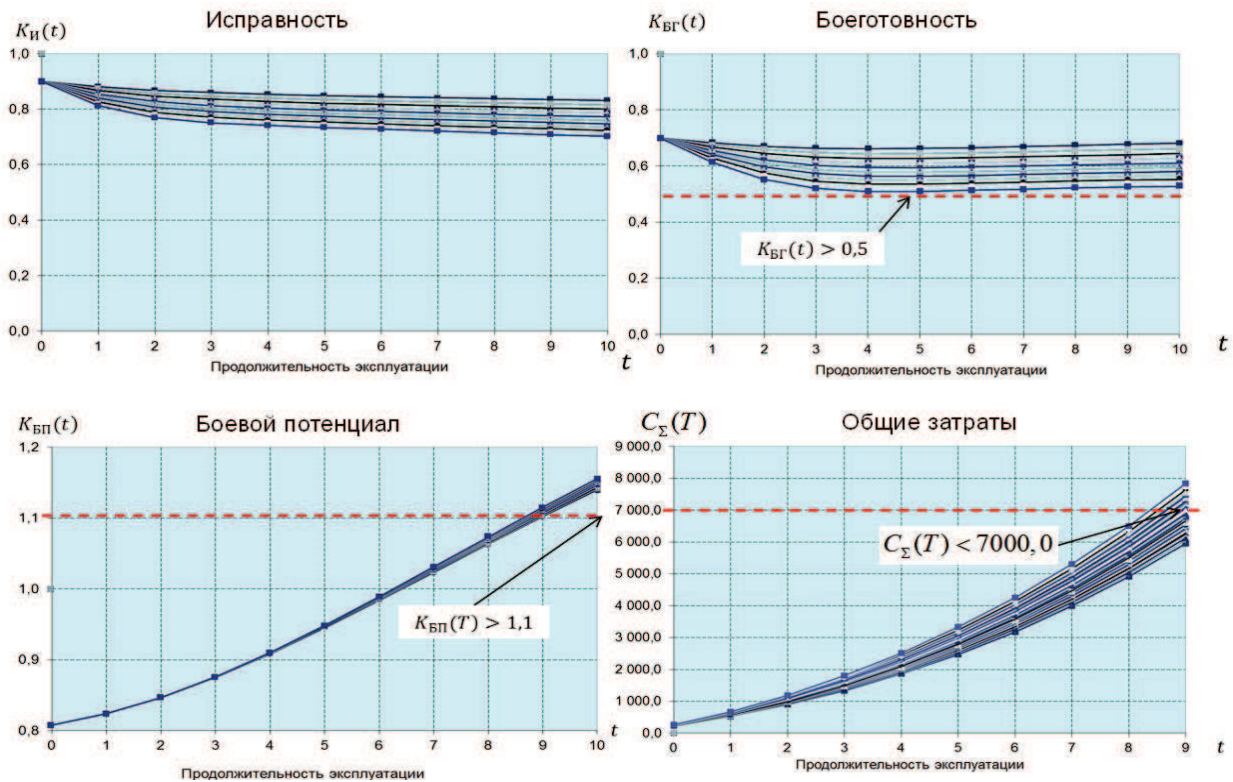


Рисунок 7 – Динамики изменения исправности парка ВВТ, боеготовности ВВТ, коэффициента боевого потенциала и общих затрат при интервальных значениях $\lambda_{12}=[0,07;0,17]$ и $c_2=[3;5]$

Недостатком интервальных методов является то, что чем больше используется интервально заданных параметров в исходных данных, тем шире выходной интервал, получаемый в результате «естественного» интервального расширения. Однако в современной интервальной математике [2, 13] предложены

некоторые эвристические приемы, позволяющие снизить ширину итоговых интервалов.

Приведенные результаты дают основание сделать заключение, что применение интервального метода в задачах планирования развития системы вооружения с ограниченными ошибками и неопределенностью в исходных данных имеет большие перспективы.

Список использованных источников

1. Методология программно-целевого планирования развития системы вооружения на современном этапе / В.М.Буренко и др.; под ред. В.М.Буренка. – М.: Граница, 2013. – 520 с.
2. Давыдов Д.В. Интервальные методы и модели принятия решений в экономике. – Владивосток, 2009.
3. Буренко В.М. Прогноз, а не фантазии // Военно-промышленный курьер. – 2013. – № 46 (514).
4. Вошинин А.П. Интервальный анализ данных: развитие и перспективы // Заводская лаборатория. – 2002. – № 1. – Т. 68. – С. 118-126.
5. Радвик Б. Военное планирование и анализ систем / Сокр. перевод с англ. В. Базарова, Л. Какунина, К. Трофимова; под ред. А.М. Пархоменко. – М.: Воениздат, 1972.
6. Жуков Г.П., Викулов С.Ф. Военно-экономический анализ и исследование операций. – М.: Воениздат, 1987. – 440 с.

7. Буравлев А.И., Голубятников К.В. Методика выявления грубых ошибок в исходных данных по эффективности применения средств поражения // Вооружение и экономика. – 2013. – № 1 (22).

8. Ащепков Л.Т., Давыдов Д.В. Универсальные решения интервальных задач оптимизации и управления. – М.: Наука, 2006. – 151 с.

9. Перепелица В.А., Тебуева Ф.Б. Дискретная оптимизация и моделирование в условиях неопределенности данных. – М.: Академия Естествознания, 2007.

10. Дилигенский Н.В., Дымова Л.Г., Севастьянов П.В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология. – М.: Машиностроение, 2004.

11. Буравлев А.И., Пьянков А.А. Модель технического обеспечения войск // Вооружение и экономика. – 2010. – № 2 (10).

12. Буренок В.М., Погребняк Р.Н., Скотников А.П. Методология обоснования перспектив развития средств вооруженной борьбы общего назначения. – М.: Машиностроение, 2010.

13. Hansen E.R. Sharpness in Interval Computations // Reliable Computing. – 1997. – V. 3. – P. 17-29.