

**Фиров Н.В.***Доктор экономических наук,  
старший научный сотрудник.*

### **Проблемы повышения эффективности использования ресурсов, направленных на развитие вооружения и военной техники**

*В статье рассматриваются направления повышения эффективности использования экономических и интеллектуальных ресурсов государства на основе их концентрации на приоритетных направлениях развития вооружения и военной техники.*

Одним из направлений повышения эффективности использования интеллектуальных, финансовых, временных и прочих ресурсов является их концентрация на приоритетных направлениях развития науки, техники, технологии, важнейшим аспектом которой является привлечение к разработке перспективных (прорывных) технологий и сложных технических систем не одной, а нескольких организаций, т.е. проведение альтернативных разработок.

В настоящее время концентрация усилий и финансовых средств на приоритетных направлениях, в частности на приоритетных НИОКР по созданию перспективных образцов ВВТ, рассматривается как вынужденный инструмент, обусловленный ограниченностью ресурсов, что вполне логично и очевидно. Вместе с тем это и достаточно эффективный способ рационального использования ресурсов, грамотное применение которого, позволит сократить как финансовые, так и временные затраты на создание перспективных технологий и образцов ВВТ. В данном случае речь идет о разработке перспективных изделий и технологий на конкурсной (альтернативной) основе. Необходимо отметить, что здесь под разработкой изделий и технологий на конкурсной основе не следует понимать проведение конкурса на размещение заказа на проведение работ, а привлечение к разработке перспективных технологий (изделий) одновременно нескольких организаций. Как ни парадоксально, но при очевидном увеличении объема требуемых ресурсов вследствие привлечения не одной, а ряда организаций, с другой стороны, такой подход может привести к сокращению объема необходимых финансовых и временных ресурсов.

Проведение НИОКР связано со значительным риском. Ход работ по созданию современного образцов ВВТ и технологий (в дальнейшем изделий) уровень достигнутых

показателей их качества наряду с опытом и квалификацией сотрудников, уровнем развития экспериментальной и технологической базы предприятия в значительной степени обусловлены тем, насколько удачным был выбор решений, положенных в основу разрабатываемого изделия. Немалую роль здесь играет случай. Разработка изделий на альтернативной основе по существу равносильна принципу резервирования в теории надежности, позволит снизить влияние случайных факторов и неопределенности в процессе проведения НИОКР, повысить вероятность разработки изделий с требуемыми характеристиками в приемлемые сроки.

Таким образом, разработка изделий на альтернативной основе, имеет как положительные, так и отрицательные моменты в плане требуемых для разработки изделий ресурсов. В этом случае возникает актуальная задача оценки влияния альтернативности разработок на требуемый объем ресурсов, а также в разработке общих положений применения принципа альтернативности при создании перспективных изделий.

При проведении альтернативных разработок естественно желание достичь положительных результатов от реализации принципа альтернативности при возможно меньших дополнительных затратах, связанных с привлечением к работам конкурирующих организаций. Это может быть обеспечено при реализации следующей стратегии в организации конкурса: разработка альтернативного элемента прекращается, как только будет установлена его бесперспективность.

С учетом изложенного процесс разработки изделия на конкурсной основе можно представить как разработку некоторой гипотетической системы, состоящей из двух или более однотипных альтернативно разрабатываемых элементов. При этом разработка альтернативного элемента заканчивается, как только будет установлена его беспер-



спективность, а разработка системы в целом завершается, как только будет создан ее наилучший (отобранный в процессе создания) элемент.

Схематично процесс разработки изделия на альтернативной основе представлен на рисунке 1.

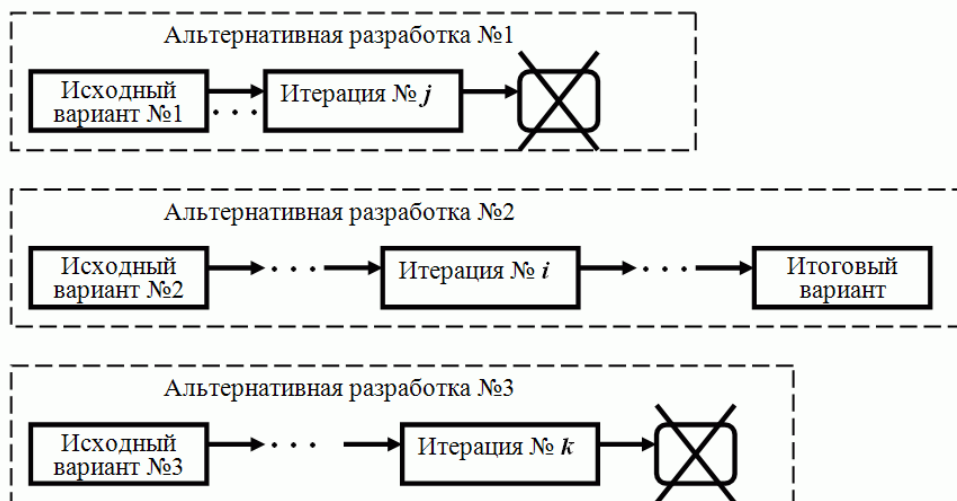


Рисунок 1 – Схема разработки изделия на альтернативной основе (на примере проведения трех альтернативных разработок)

Результаты исследований процессов развития различных отраслей науки, техники и общественной жизни показывают, что изменение во времени параметров различных систем подчиняется, как правило, экспоненциальному закону. Для большинства случаев характерно плавное количественное, эволюционное изменение параметра во времени до определенного предела. Вначале эти изменения идут быстро, затем изменения характеристик во времени замедляются и начинаются поиски путей качественных изменений системы. Дальнейший процесс сопровождается скачкообразным ростом или уменьшением параметра системы путем качественного революционного изменения.

Эволюционная часть процесса развития, может быть представлена известной зависимостью вида:

$$H_t = H_{np} - \alpha \cdot e^{-\beta t}, \quad (1)$$

где  $H_t$  – значение рассматриваемой характеристики в момент времени  $t$ ;

$H_{np}$  – предельное значение характеристики для изделий рассматриваемого вида, построенных по единой принципиальной схеме;

$\alpha, \beta$  – коэффициенты, отражающие темп изменения характеристики во времени.

Представленная модель характерна и в отношении процесса создания перспективных (прорывных) технологий и изделий. Так процесс разработки изделия можно предста-

вить как формирование некоторого его исходного варианта и проведение совокупности конструктивных итераций, связанных с постепенным повышением характеристик первоначально варианта до требуемого уровня. В данном случае под итерациями будем понимать проведение отработок, испытаний, реализацию новых решений в проекте по сравнению с исходным вариантом, а также комплекс иных мер, приводящих к изменению характеристик изделия в процессе его разработки. В результате этих мероприятий характеристики исходного образца постепенно приближаются и, в конечном счете, отвечают требуемому уровню.

Таким образом, процесс создания перспективных технологий и изделий можно рассматривать как функцию времени, либо количества итераций (рисунок 2).

Базируясь на такой схеме процесса разработки перспективных изделий исследование механизма создания изделий на альтернативной основе на продолжительность и стоимость НИОКР можно осуществить на основе моделей вида (1), как функции времени, либо моделей (2), или (3), аналогичных известным моделям роста надежности изделий в процессе их отработки, т.е. как функции итераций:

$$H_n = a^n H_0 + (1 - a^n) \cdot H_{np}, \quad (2)$$

или

$$H_n = 1 - (1 - H_0) \cdot e^{-\beta n}, \quad (3)$$

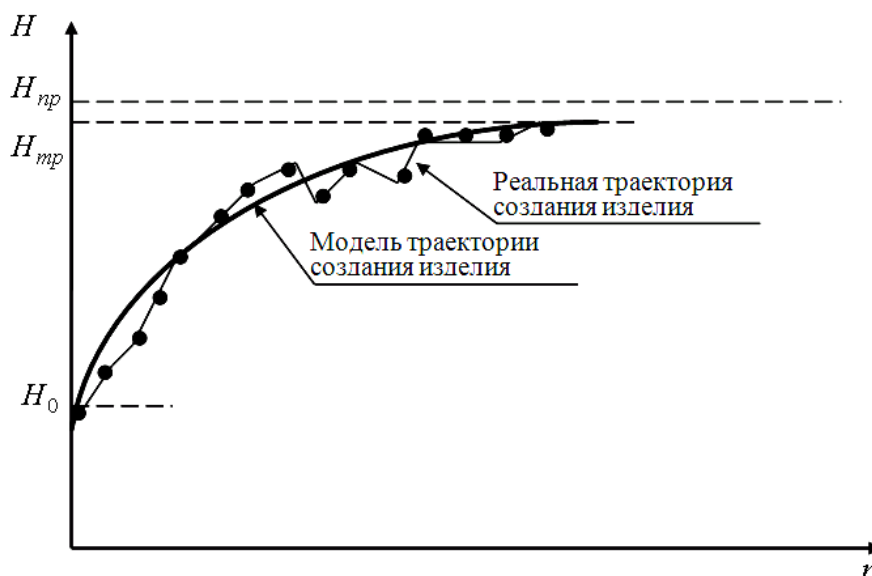


Рисунок 2 – Графическая иллюстрация процесса создания перспективных изделий

где  $a, \varepsilon$  – коэффициенты, характеризующие эффективность процесса разработки изделия. Здесь под эффективностью разработки понимается качественная сторона процесса, отражающая насколько быстро после очередной итерации идет приближение характеристик к требуемым значениям;

$n$  – количество итераций, связанных с созданием изделия;

$H_0$  – некоторый обобщенный показатель, характеризующий начальное состояние изделия;

$H_n$  – значение обобщенного показателя изделия после  $n$ -ой итерации разработки;

$H_{np}$  – предельное значение обобщенного показателя изделия.

Применение той или иной модели не принципиально с позиции анализа механизма влияния альтернативности проведения разработок на объем ресурсов, требуемых для разработки изделия. Более того, указанные зависимости взаимно преобразуются друг в друга.

В связи с этим достаточно исследовать лишь одну из представленных моделей. Ниже рассмотрена первая модель.

В указанной модели эффективность проведения отработки изделий характеризуется коэффициентом «а». Чем меньше величина коэффициента «а», тем меньше необходимо провести итераций в обеспечение создания изделия с требуемыми показателями качества.

Пусть случайная величина параметра «а» разработки некоторого изделия, создаваемого  $i$ -м предприятием, находится в диапазоне  $a_{\min_i} \dots a_{\max_i}$  с некоторой плотностью распределения  $f(a)_i$ .

Вероятность нахождения параметра «а», характеризующего эффективность процесса разработки, в диапазоне  $a_{\min_i} \dots a_2$  (где  $a_2$  – некоторое граничное значение параметра «а») определяется по формуле:

$$P(a_{\min_i} \leq a < a_r) = \int_{a_{\min_i}}^{a_r} f(a)_i da. \quad (4)$$

Очевидно, что при разработке изделия на альтернативной основе, вероятность того, что рассматриваемый параметр хотя бы для одного из вариантов изделия, разрабатываемых  $m$  предприятиями, будет меньше  $a_2$ , определяется по зависимости:

$$P_m(a < a_2) = 1 - \left[ \left( 1 - \int_{a_{\min_1}}^{a_2} f(a)_1 da \right) \cdot \dots \cdot \left( 1 - \int_{a_{\min_i}}^{a_2} f(a)_i da \right) \cdot \dots \cdot \left( 1 - \int_{a_{\min_m}}^{a_2} f(a)_m da \right) \right]. \quad (5)$$

При принятии допущения об одинаковых диапазонах значений параметра «а» в отношении участвующих в альтернативных разработках предприятий указанная вероятность определяется по зависимости

$$P_m(a < a_r) = 1 - \left[ 1 - \int_{a_{\min}}^{a_r} f(a) da \right]^m. \quad (6)$$



Учитывая, что  $P_m(a < a_r) > P(a < a_r)$  при всех  $m \geq 2$ , можно утверждать, что при разработке изделия на альтернативной основе по сравнению с вариантом, предусматривающим разработку изделий традиционным способом (одним предприятием), возрастает вероятность его создания при меньшем количестве итераций, а, следовательно, и в более короткие сроки.

Рассмотрим два случая распределения параметра отработки изделия:

а) непрерывное равномерное распределение в интервале  $(a_{\min} \dots a_{\max})$

$$f(a) = \begin{cases} a \notin (a_{\min}, a_{\max}), \text{ при } a \in (a_{\min}, a_{\max}); \\ 0, \text{ при } a \notin (a_{\min}, a_{\max}) \end{cases};$$

б) нормальное распределение в интервале  $(a_{\min} \dots a_{\max})$

$$f(a) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(a-M)^2}{2\sigma^2}},$$

где  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение параметра «а»;

$M$  – математическое ожидание параметра «а».

$$\text{При этом } \sigma = \frac{a_{\max} + a_{\min}}{6}.$$

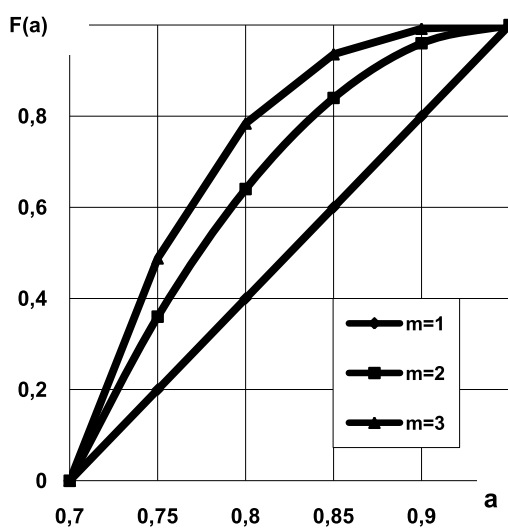
Коэффициент «а» для большинства сложных технических систем, к числу которых относится большинство образцов ВВВТ, согласно ряду работ, например [1], находится в диапазоне 0,7...0,95. Примени-

тельно к указанному диапазону и проведем количественные оценки влияния альтернативности разработки изделий на эффективность использования ресурсов. При этом при определении интегральной функции распределения и в дальнейших иллюстрациях предполагается, что диапазоны изменения параметра «а» при разработке изделия тем или иным предприятием совпадают. Это упрощает процесс подготовки исходных данных, не влияя на принципиальные положения количественной оценки влияния конкурса на объем ресурсов и сроки разработки изделий.

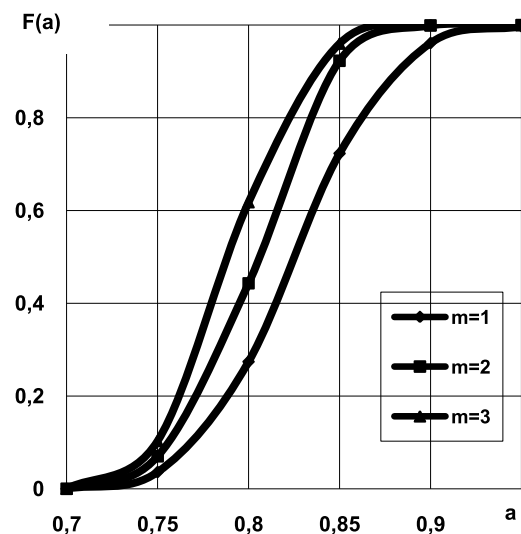
В перспективе при проведении дальнейших исследований данной проблемы диапазоны изменения параметра «а» могут быть уточнены в отношении отдельных видов изделий, работ, предприятий.

Графики функции распределения  $F(a)$  для равномерного и нормального законов плотности распределения параметра «а» в зависимости от количества предприятий, участвующих в разработке изделия на альтернативной основе, представлены на рисунке 3.

Представленные иллюстрации интегральных функций распределения параметра «а» наглядно подтверждают вывод о том, что с увеличением количества предприятий, участвующих в разработке изделия на конкурсной основе, значение функции  $F(a)$  при заданном «а» возрастает.



а) при равномерном законе распределения величины «а»



б) при нормальном законе распределения величины «а»

Рисунок 3 – Интегральная функция распределения параметра «а» в зависимости от количества предприятий, участвующих в конкурсе

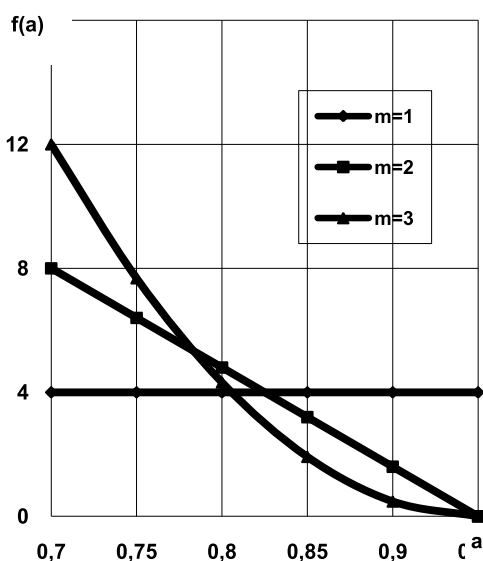
Таким образом, разработка изделия на конкурсной основе по существу равносильна позитивному изменению плотности распределения величины «а», которая определяется по формуле:

$$f(a)_m = \frac{\partial}{\partial a} \left[ 1 - \left( 1 - \int_{a_{\min}}^a f(a) da \right)^m \right], \quad (7)$$

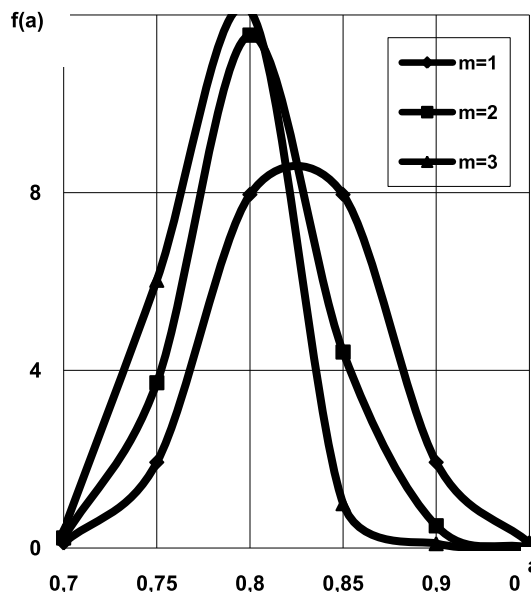
или

$$f(a)_m = m \cdot \left( 1 - \int_{a_{\min}}^a f(a) da \right)^{m-1} \times (f(a) - f(a_{\min})). \quad (8)$$

Графики плотности распределения f(a) для равномерного и нормального законов распределения параметра "а" в зависимости от количества предприятий, участвующих в разработке изделия на конкурсной основе, представлены на рисунке 4.



а) при равномерном законе распределения величины "а"



б) при нормальном законе распределения величины "а"

Рисунок 4 – Плотность распределения параметра "а" в зависимости от количества предприятий, участвующих в конкурсе

Изменение плотности распределения величины "а" приводит к изменению ее математического ожидания:

$$M_m = m \cdot \int_{a_{\min}}^{a_{\max}} \left( 1 - \int_{a_{\min}}^a f(a) da \right)^{m-1} \times (f(a) - f(a_{\min})) da. \quad (9)$$

С учетом зависимости (2) и результатов анализа влияния разработки изделия на конкурсной основе на плотность распределения параметра "а" можно количественно оценить влияние проведения альтернативных разработок на ожидаемый объем проектно-конструкторских итераций. Такое влияние можно характеризовать некоторым показателем  $K_m$ , который показывает, во сколько

раз ожидается уменьшение требуемого объема итераций при ее конкурсной разработке  $m$  предприятиями:

$$K_m = \frac{\ln M_m}{\ln M}, \quad (10)$$

где  $M, M_m$  – математическое ожидание параметра "а" при традиционном способе разработки и при разработке на альтернативной основе  $m$  предприятиями, соответственно.

Результаты проведенных расчетов показали, что при рассматриваемом диапазоне изменения параметра "а" в общем случае можно ожидать следующее снижение количества проектно-конструкторских итераций, а, следовательно, и ожидаемых сроков раз-



работки, необходимых для разработки изделия с требуемыми характеристиками:

- при проведении альтернативных разработок двумя организациями в 1,16 раза;
- при проведении альтернативных разработок тремя организациями в 1,23 раза.

Таким образом, для проблемных в создании образцов при наличии предприятий, обладающих примерно равным научным и проектным потенциалом и эксперименталь-

ными базами, до 10% от прогнозируемой стоимости НИОКР может быть выделено дополнительно на проведение конкурсных разработок. Это только позитивно отразится на эффективности использования выделяемых на развитие изделий ресурсов.

Распределение ассигнований по стадиям разработки изделий, обусловлено, в первую очередь, видом изделия, особенностями его разработки. Для ряда образцов ВВТ, затраты на разработку по стадиям представлены в таблице 1.

Таблица 1. Распределение затрат по стадиям разработки изделий, %

№ п/п	Стадия	Условное обозначение вида изделия		
		№1	№2	№3
1,2	Техническое задание, техническое предложение	1	0,5	0,5
3	Эскизное проектирование	2-3	1-2	1-2
4	Разработка рабочей документации на опытные изделия	2-5	2-6	14-18
5	Изготовление опытных изделий, наземные автономные испытания и корректировка рабочей документации	40-50	70-75	45-60
6	Наземные комплексные и межведомственные испытания	15-18	10-13	11-15
	Летные испытания	25-40	5-10	13-15
	Подготовка рабочей документации на изделия серийного производства	1	1,3	0,5

Согласно данным таблицы затраты на разработку изделий, включая эскизное проектирование, где предусмотрено и экспериментальное подтверждение наиболее важных принципиальных решений, находятся в диапазоне 1,5-3%, в крайнем случае достигают 4% от общих затрат на разработку изделий. В связи с этим можно полагать, что альтернативная разработка изделий, проводимая включительно до стадии эскизного проектирования, приведет к увеличению затрат не более, чем на 3-4% (при привлечении к разработке на конкурсной основе двух организаций).

Затраты на изготовление опытных образцов и проведение всех видов испытаний достигают 80-90% от общих затрат на разработку изделий. Учитывая, что привлече-

ние к разработке изделий на альтернативной основе двух организаций приведет к снижению математического ожидания количества отработок (испытаний) в 1,16 раза, можно ожидать снижения общих затрат на разработку изделий на 11—12,5%.

Таким образом, привлечение к созданию перспективного изделия на стадиях технического предложения и эскизного проектирования двух организаций, разрабатывающих альтернативные варианты, может привести к снижению объема требуемых ассигнований на 7-8,5%. Если допустить, что использование принципа альтернативности при разработке изделий приведет к снижению только количества автономных испытаний, то и в этом случае можно ожидать снижения затрат на этапе отработки на 5,5-

10% от общих затрат. В целом, учитывая увеличение затрат на техническое предложение и эскизное проектирование вследствие привлечения к разработке дополнительных организаций в итоге и в этом случае можно ожидать снижения суммарных затрат на 2,5—6%.

Приведенные данные подтверждают положение о том, что реализация разработки изделий на конкурсной основе может привести к снижению общих финансовых и временных затрат на разработку изделий. Следует, однако, отметить, что снижение суммарных затрат вследствие реализации при разработке изделий принципа альтернативности ожидается только для достаточно сложных в отработке изделий. Косвенным доказательством сложности создания таких изделий служит диапазон изменения параметра отработки « $a$ ». Чем выше верхняя граница параметра, тем сложнее процесс разработки изделия, тем больше может быть достигнут эффект от реализации разработки изделия на альтернативной основе.

При исследовании процесса создания образцов на конкурсной основе необходимо различать две группы причинно-следственных связей и факторов влияния конкурса на их технико-экономические показатели (ТЭП) изделий и стадий жизненного цикла.

Первая группа характеризует влияние конкурса на сам процесс разработки изделий, его стоимостные и временные показатели. Вторая группа факторов оказывает влияние на технические, функциональные и стоимостные характеристики изделий. Результаты влияния этой группы факторов, в отличие от первой, трудно прогнозировать и, по крайней мере, до окончания конкурса они оцениваются, в основном, лишь качественно. Однако, очевидно, что конкуренция положительно влияет на отмеченную группу характеристик изделий, а следовательно и общий эффект от альтернативности разработки будет, безусловно, несколько выше приведенных оценок.

В целях повышения эффективности использования ресурсов на основе практики реализации конкурсных разработок необходимо придерживаться ряда правил и положений.

Во-первых, на альтернативной основе следует разрабатывать, очевидно, не все элементы систем, а элементы, находящиеся на критическом пути и в значительной мере определяющие перспективный облик системы.

Во-вторых, к разработке изделий на конкурсной основе необходимо привлекать только предприятия обладающий примерно одинаковым потенциалом в создании изделий.

В-третьих, должны быть четко регламентированы правила и условия окончания конкурса и определения победителя.

Рациональная организация конкурса должна способствовать реализации преимуществ конкурентной борьбы и ограничивать рост затрат, связанных с привлечением к конкурсу дополнительных организаций.

При выборе лучшего проектно-конструкторского решения необходимо исходить из того, что во избежание ошибки выбора необходимо экспериментальное подтверждение основных решений. Чем больше испытаний тем выше вероятность принятия объективного решения, но выше суммарные затраты на разработку изделия. При принятии решения об окончании конкурса необходимо учитывать, согласно ряда работ, следующее: вероятность ошибочного принятия решения уже после эскизного проекта достаточно мала, а после проведения двух – трех испытаний, соответствует согласно данным ряда работ величине 0,04...0,09.

#### Список использованных источников

- 1 Червоный А.А., Лукьященко В.И., Котин Л.В. Надежность сложных систем. 2-е издание, переработанное и дополненное. – М.: Машиностроение, 1976. -287с.
- 2 Вентцель Е.С. Теория вероятностей. Издание третье. – М.: Наука, 1964. -576с.

