

---

**УДК 629.07.18**

## **Обоснование рационального уровня унификации и типажа систем снаряжения.**

А. Б. Гусейнов

В статье даны основные понятия, определения и положение унификации и типажирования технических систем. Рассмотрены методы оценки влияния унификации на технико – экономические показатели систем снаряжения. Представлены алгоритм, модели, критерии обоснования типажа технических систем.

Системы снаряжения; унификация; технико-экономические показатели; критерии оптимальности; типажирование.

### **1. Анализ возможных направлений разработки унифицированных систем снаряжения.**

Задачи обоснования рационального уровня унификации и типажа многоцелевых СС необходимо решать на базе комплексного критерия «эффективность - стоимость». Они решаются на уровне формирования техпредложений (обоснования конструктивно компоновочного облика) по заданному ТЗ на проектирование систем снаряжения (СС) [3, 14]. При разработке СС необходимо руководствоваться следующими определениями и положениями: многоцелевые системы, универсальность, унификация, модульный принцип, модификация, модернизация, адаптация, типажирование [10, 12, 15].

*Многоцелевые системы* — специфический класс технических объектов, основными особенностями которых являются [12]

а) наличие разнообразных условий функционирования и выполняемых задач; б) сложная структура системы, стоящей из нескольких автономных элементов, между которыми распределено выполнение отдельных задач.

*Универсальность* - качественная характеристика технического объекта или системы, указывающая на возможность функционировать в различных условиях и выполнять некоторую совокупность разнотипных или однотипных заданий. Универсальность - это внешнее свойство объекта (системы), характеризующее широту его применения. Свойством универсальности может обладать как система, так и ее элемент.

*Унификация* — приведение элементов заданного множества к единообразию установленным признакам или сокращение числа элементов заданного множества. Унификация в технике — устранение неоправданного многообразия объектов одинакового функционального назначения и разнотипности их составных частей и деталей.

*Модульный принцип* (модулирование) представляет собой совокупность приемов, посредством которых из общей структуры технической системы вычленяются в единые компоненты (модули) функционально связанные составные части со строго ориентированными связями между ними. Модульный принцип приводит к созданию специализированных ЛА, которые изготовлены в основном из унифицированных и нормализованных узлов и агрегатов с применением небольшого числа специальных (оригинальных) деталей, из которых с использованием различных комбинаций komponуются отдельные варианты изделий различного назначения.

Решение задачи выбора структуры и параметров модульной системы базируется на методах дискретного программирования и параметрической оптимизации элементов и вариантов комплектования ЛА в целом, конкретизируемых с учетом специфики постановки задачи. *Модификация* – принцип развития технического объекта (системы) с целью расширения или изменения его первоначального назначения, не предусмотренного при проектировании. Модификация является формой адаптации. Имеет ограниченный характер, поскольку сдерживающим фактором является первоначальная конструктивная схема базового объекта.

Реализация принципа модификации приводят к появлению системы ЛА, состоящей из однотипных ЛА, предназначенных для использования в условиях, которые отличаются от условий применения базового образца (например, тропическая или северная, учебная, разведывательная, телеметрическая модификация). Модифицированные варианты базового ЛА существуют одновременно.

*Модернизация* – приведение технических объектов в соответствие с современными требованиями с помощью незначительных изменений конструкции, материала или метода.

Модернизация дает ряд ЛА, каждый следующий вариант которого заменяет предыдущий. Модернизация может привести к появлению нового типа ЛА. Модификация порождает только однотипные ЛА.

Использование модификации и модернизация позволяет подучить системы ЛА с характерным для каждой системы видом связей между элементами.

*Адаптация* – способность автоматически приспосабливаться к изменяющимся внешним условиям. Адаптация – реализация свойства адаптивности в конкретной технической системе или объекте. Различают адаптацию на уровне единичного ЛА и системы в процессе функционирования и по времени жизненного цикла.

Под адаптивностью в ходе функционирования [2] понимается способность автоматически приспосабливаться к изменяющимся условиям применения. В этом случае процесс адаптации реализуется в ходе регулирования и управления. Летательный аппарат должен иметь подсистемы с переменными параметрами, чтобы поддерживать характеристики в оптимальном диапазоне значений независимо от условий применения.

*Типажирование* – проектирование на основе этого метода позволяет получить системы типа ряд. Каждый элемент применяется на своем интервале, а вся система покрывает весь диапазон потребностей. Характерной особенностью элементов таких систем является их однотипное назначение. Выбор параметров и характеристик этих систем осуществляется методами, развиваемыми в рамках теории простых многоцелевых систем [1, 12]

*Параметрический ряд* – закономерно построенная в определенном диапазоне совокупность объектов одинакового функционального назначения с регламентированными параметрами и градациями параметров.

*Типоразмерный ряд* – разновидность параметрического ряда, в качестве главного параметра которого принимается размер изделия. Элементы параметрического (типоразмерного) ряда конструктивно подобны (однотипны).

Конструктивно-унифицированный ряд — параметрический ряд технических объектов, имеющих общие унифицированные элементы.

*Групповые системы.* В реальных условиях большая часть ЛА эксплуатируется при нагрузках, существенно меньших максимальной. Невозможна такая стратегия применения, которая предусматривает использование всех ЛА системы в наихудших условиях для каждого элемента ЛА. Эти соображения привели к появлению задач проектирования групповых систем ЛА. При разработке групповых систем производится выбор параметров не отдельной ЛА, а всей системы ЛА, состоящей из стандартных объектов с учетом различия вероятностных показателей всей групповой системы как единого объекта. При этом задается надежность выполнения задачи для всей системы. Наихудшие случаи рассматриваются с учетом вероятности их появления. В результате такого подхода формируется система ЛА, состоящая из многих единиц идентичных ЛА — групповая система. Методическую основу проектирования групповых систем составляют методы

решения вариационно-комбинаторных задач оптимального управления сложной динамической системы.

Следует отметить, что проблеме разработки универсальных многоцелевых ЛА и универсальных систем ЛА уделяют большое внимание крупнейшие фирмы США и Западной Европы [4, 13, 15].

Создание многоцелевого унифицированного образца позволяет повысить:

- военно-техническую эффективность применения;
- технико-экономическую эффективность создания и эксплуатации.

Первое направление должно оцениваться показателями эффективности применения унифицированного образца по основным объектам, второе – полными затратами на разработку, серийное производство (с учетом повторных поставок) и эксплуатацию образца в течение всего периода времени его нахождения на оснащении.

При этом должны рассматриваться варианты конструктивно-компоновочного облика СС с различными уровнями унификации:

а) вариант низкой унификации - некоторые отличия в конструкции планера обусловленного видами базирования носителя (наземное, воздушное, корабельное);

б) вариант среднего уровня унификации, двигательные установки однотипны, но имеются различия в массе топлива и дальности действия, различия в типах боевых частей, взрывателей для поражения наземных и морских целей, при этом бортовые системы наведения имеют несущественные отличия от существующих образцов;

в) вариант значительного уровня различий по основным агрегатам (планер, двигательная установка, боевые части, система наведения), но основные электрорадиоэлементы, функционально законченные устройства, датчики информации, вычислители, преобразователи, блоки, платы обладают высокой конструктивной, технологической, размерно-механической, информационно-сигнальной совместимостью и общностью с существующими СС;

г) вариант высокой унификации эксплуатационного оборудования (аппаратуры, стендов, состава устройств и приборов) для проверки, контроля технического состояния основных агрегатов с имеющимся оборудованием в пунктах базирования и обслуживания существующих. Последний вариант унификации должен обеспечить минимизацию возможных изменений оборудования пунктов наземного, воздушного и морского базирования ракет и т.п. При оценке экономической эффективности необходимо учитывать существующие различия между заказчиком и исполнителем в определении затрат. Заказывающие органы должны сопоставлять полные экономические затраты на разработку, серийное, производство (с учетом повторных поставок) и их эксплуатацию

СС в течение всего периода их нахождения на оснащении войск и флота с показателями боевой эффективности всего парка ракет по критерию «полные затраты - боевая эффективность».

Промышленные корпорации и предприятия, являющиеся разработчиками и производителями СС, используя указанный выше критерий выбора наиболее рационального варианта (в соответствии с требованиями заказчика), должны добиваться еще обеспечения экономической доходности разработки и производства, проводить сопоставление необходимых затрат с расходами, определять достигаемую прибыльность проводимых работ по соответствию получаемой нормы прибыльности, рентабельности основных активов, их соответствию среднеотраслевым нормам эффективности производства.

Таким образом, на практике будет наблюдаться некоторое принципиальное отличие в методах оценки технико-экономической эффективности СС (отражающих интересы заказчиков (потребителей) и интересы промышленности (корпораций и предприятий-разработчиков и производителей).

Выбор и принятие согласованных решений зависит от учета различающихся интересов этих двух сторон, требует проведения оценок влияния многих факторов, от которых зависят затраты на разработку, производство и эксплуатацию ракет. На эти затраты существенно влияет объем (количество) производимых партий (масштаба производства), уровень унификации основных подсистем, агрегатов функционально законченных устройств, блоков, электро-радиоэлементов.

Ниже даны методы учета влияния унификации на экономические показатели.

## **2. Методы оценки влияния унификации на технико-экономические показатели.**

Обоснование рационального облика многоцелевой унифицированного изделия состоит в решении задач по рациональному сокращению номенклатуры изделий и их составных частей.

При этом должны быть сформулированы требования по обеспечению заданного уровня унификации. Например, в проектируемой многоцелевой ракете должны быть использованы не более 25-30% новых агрегатов и систем.

Такой подход к ограничению оригинальности в номенклатуре составных частей обусловлен данными промышленной статистики передовых стран мира, указывающей, что высокое качество новых образцов техники (особенно сложных), сроки их освоения в производстве, возможности снижения стоимости разработки, серийного производства и

эксплуатации, повышения надежности новых образцов существенно зависят от степени использования в них типовых (унифицированных и стандартных) составных частей, применяемых в существующих образцах, технология производства и эксплуатация которых хорошо отработана. При этом достигается существенное уменьшение потребностей в новом оборудовании и технологии, необходимом для производства и ремонта выпускаемого нового образца техники; обеспечивается рост серийности производства составных частей, снижение себестоимости их производства и ремонта, повышение долговечности, безотказности, сохраняемости, упрощение процессов снабжения; используются ранее производимые расходные материалы (ЗИП топлива и др.) типовые технологии производства и ремонта, специализация кооперация производства.

При реализации принципа функциональной заменяемости агрегатов, узлов, подсистем нескольких образцов обеспечивается их техническая конструктивная совместимость, универсализация эксплуатационного оборудования (оборудования для технического обслуживания, ремонта, приспособлений, инструмента, измерительной техники и др.).

Этот принцип функциональной и конструктивной совместимости был с успехом реализован в различных ПЭВМ, разработанных фирмой ИБМ, самими пользователями путем замены отдельных ее блоков на более современные устройства.

Широкое применение унификации обеспечивает значительную экономию финансовых средств при разработке новых образцов высокоточного оружия за счет сокращения времени их разработки, конструкторской и технологической подготовки производства; снижения себестоимости производства ракет и их основных подсистем; уменьшения стоимости годовой эксплуатации и стоимости ремонта; снижение удельной фондоемкости производства и ремонта и уменьшения ее номенклатуры, а также большей загрузки производства. Это приводит к повышению рентабельности основных предприятий-производителей, ремонтных предприятий.

Получаемый эффект от унификации зависит как от рационального выбора конструктивного облика СС, так и от наиболее целесообразных решений по организации проектирования, серийного производства, размещения заказов по предприятиям. Очень важен объем выпуска ракет (программа выпуска по годам).

Таким образом, снижение затрат на серийный выпуск СС будет наиболее существенным, если ее серийное производство и выпуск основных подсистем будут осуществлены на тех предприятиях, на которых производились аналогичные ракеты.

При этом для комплектации новых СС могут применяться ранее выпускаемые подсистемы и составные части. За счет этого обеспечится высокий уровень унификации

как конструктивного облика так и возможность применения существующего оборудования и технологии производства.

Очень важным является сокращение времени разработки и подготовки производства при применении унификации и стандартизации составных частей, входящих в состав нового изделия.

### 2.1. Влияние унификации на сокращение времени разработки.

Выигрыш во времени начала серийного производства  $\Delta\tau_{\text{нв}}$ , обусловленный применением типовых агрегатов и узлов составляет [8, 9]

$$\Delta\tau_{\text{нв}} = (\tau_0 - \tau_{\text{ун}}) = \tau_0 \left[ 1 - \frac{T_{\text{ун}}(1-\varepsilon)}{T_0(1+\beta_{\text{пси}})} \right] \quad (1)$$

где  $\tau_0$  - продолжительность конструкторской и технологической подготовки производства нового изделия, проектируемого без заимствования составных частей;

$\tau_{\text{ун}}$  - продолжительность конструкторской и технологической подготовки производства при унификации составных частей;

$T_{\text{ун}}, T_0$  - трудоемкость конструкторской и технологической подготовки производства при унификации составных частей и без ее применения, соответственно (без учета трудоемкости сборки, наладки, испытаний);

$\varepsilon$  - относительное время, необходимое для использования в проекте заимствованных составных частей (включение документации по ним в проект);

$\beta_{\text{пси}}$  - удельный вес трудоемкости проектирования сборки, наладки испытаний в общей трудоемкости проектирования.

Сокращение времени разработки образца подсистем техники на величину  $\Delta\tau_{\text{нв}}$  позволит увеличить общий объем поставок нового образца в войска на величину

$$\Delta V = V_0 [\Delta\tau_{\text{нв}} + 0,5(t_{\text{осв}} - t'_{\text{осв}})] = V_0 \tau_0 \left( 1 - \frac{T_{\text{ун}}(1-\varepsilon)}{T_0(1+\beta_{\text{пси}})} \right) + 0,5(t_{\text{осв}} - t'_{\text{осв}}) \quad (2)$$

где  $V$ - годовой объем производства нового образца;

$t_{\text{осв}} - t'_{\text{осв}}$  - время достижения установившегося годового объема производства соответственно при отсутствии и при наличии унификации.

При полной комплектации нового изделия из готовых отработанных составных частей (модулей, блоков) других изделий достигается наибольшее сокращение конструкторской и технологической подготовки производства. Так, например, если все составные части нового изделия проектировать заново, то время конструкторской и технологической подготовки составляет  $\tau_0=3$  года. При широком применении

унифицированных составных частей трудоемкость этой подготовки снижается на 30%,  $\frac{T_{ун}}{T_0} = 0,7$ , а время освоения проектной мощности уменьшается до двух раз.

При  $\varepsilon = 0,05$ ,  $\beta_{пси} = 0,2$  выигрыш во времени начала серийного производства составляет больше года:

$$\Delta\tau_{нв} = \tau_0 \left[ 1 - \frac{T_{ун}(1 - \varepsilon)}{T_0(1 + \beta_{пси})} \right] = 3 \left[ 1 - 0 \frac{(1 - 0,05)}{(1 + 0,2)} \right] = 1,35 \text{ года}$$

Из рассмотренного примера видно, что при использовании типовых унифицированных составных частей в новом изделии время перехода к серийному производству сокращается почти в 2 раза.

## 2.2. Влияние унификации на стоимость производства.

Количество основных факторов и направлений воздействия унификации и стандартизации на стоимость серийного производства достаточно велико. Влияние многих из них пока можно учесть качественно (типовая технология, снижение фондоемкости производства, ускорение обучения персонала, упрощение снабжения). Однако, в настоящее время уже накоплен достаточный опыт для количественной оценки влияния объема выпуска продукции, времени нахождения изделия в серийном производстве.

Статистические данные по разным видам техники показывают снижение себестоимости  $\tilde{C}_i$  серийного производства  $i$ -го изделия с увеличением срока их нахождения в производстве и увеличение объема годового выпуска. Это соответствует закономерностям массового производства [8].

В качестве примера приведем оценку себестоимости  $i$ -го изделия  $\tilde{C}_i$  на основе статистических данных для радиоэлектронных приборов:

$$\tilde{C}_i = 1,356 \cdot t^{-0,268} \frac{N_t}{N_3^{-0,033}} \cdot K_n \quad (3)$$

где  $K_n$  - нормирующий коэффициент, зависящий от типа изделий,

$N_t$  - объем годового выпуска в  $t$ -году,

$N_3$  - объем годового выпуска в третьем году от начала серийного производства,

$t$  - количество лет нахождения данной продукции в производстве.

Например, по формуле (3) при двукратном увеличении срока нахождения изделия в серийном производстве и повышении годового выпуска в 3 раза, себестоимость серийного производства радиоэлектронных приборов уменьшается на 20%.

Зависимость снижения себестоимости производства радиоэлектронного прибора  $\tilde{C}_i$  от продолжительности серийного изготовления и объема выпуска показан на рис. 1.



Наибольшее влияние на снижение  $\tilde{C}_i$  оказывает продолжительность нахождения в производстве. Для оценки влияния объема партии на стоимость изделия используется 80% математическая закономерность, освоенная в виде:

$$C_n = \frac{C_1}{N^{1/3}}$$

где  $C_n, C_1$  - стоимости  $n$ -го и первого экземпляров изделий, т.е. при увеличении партии вдвое стоимость снижается на 20% [7].

Из закона уменьшения себестоимости продукции от объема выпуска и срока ее нахождения в серийном производстве следуют важные выводы экономического управления предприятием:

- частая замена выпускаемой продукции невыгодна предприятию;
- при создании новых образцов техники для уменьшения себестоимости их производства необходимо повышать удельный вес унифицированных составных частей.

Стоимость продукции  $i$ -го изделия можно определить по формуле приведенных затрат [3,14]

$$C_i = \tilde{C}_i(1 + E_n \cdot K_{ydi}) \quad (4)$$

где  $\tilde{C}_i$  - себестоимость производства  $i$ -го элемента;

$E_n$  - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений в производство (прибыльности), для авиационно-ракетной промышленности  $E_n \approx 0,14$ ;

$K_{ydi}$  - удельное капвложение в  $i$ -ое изделие на стадии производства.

Стоимость производства унифицированной продукции можно представить в виде

$$C^*_i = C_i \cdot \beta_i \quad (5)$$

где  $\beta_i$  - относительное снижение стоимости  $i$ -го образца при реализации мероприятий по унификации и стандартизации продукции.

Затраты на производство изделий в зависимости от его массы можно представить в виде [7]

$$\tilde{C}_i = \alpha_i \cdot m_i^\gamma \quad (6)$$

где  $\alpha_i$  - коэффициент пропорциональности, зависящий от типа и сложности производства изделия;

$\gamma_i$  - показатель степени, меньший единицы, зависящий от типа изделия (для авиационно-ракетных конструкций  $\gamma_i \approx 0,7$ ).

Из соответствия (3.6) удельные затраты, т.е. затраты на один килограмм конструкции будут равны

$$C_{уд.н.i} = \frac{\tilde{C}_i}{m_i} = \frac{\alpha_i}{m_i^{(1-\gamma_i)}} \quad (7)$$

### 2.3. Влияние унификации на эксплуатационные затраты.

Годовую стоимость эксплуатации СС можно определить по соотношениям [4,14]:

$$C_{\text{э.г.}} = \tilde{C}_{\text{э.г.}}(1 + E_{\text{н}} \cdot k_{\text{уд.э}})k_{\text{пр.э}} \quad (8)$$

где  $\tilde{C}_{\text{э.г.}}$  - себестоимость эксплуатации, приходящаяся на один год;

$k_{\text{уд.э}}$  - удельные капвложения в эксплуатацию;

$k_{\text{пр.э}}$  – коэффициент приведения эксплуатационных затрат к базовому этапу;

Эксплуатационные затраты можно разделить по срокам вложения на единовременные и текущие расходы:

$$\tilde{C}_{\text{э.г.}} = \sum_{i=1}^n \frac{\tilde{C}_i}{\tau_i} \varphi_i + \tilde{C}_{\text{э.тек.г.}} \quad (9)$$

где  $\tilde{C}_i$  - себестоимость -го элемента технической позиции (ТП);

$\tau_i$  - срок службы  $i$ -го элемента;

$\varphi_i$  - применяемость -го элемента;

$\tilde{C}_{\text{э.тек.г.}}$  - текущие эксплуатационные расходы;

$n$  - общее число элементов (оборудования, сооружений) в ТП.

Текущие затраты состоят из затрат на содержание личного состава службы эксплуатации, на топливо, на горюче-смазочные и расходные материалы, на капитальный и профилактический ремонты. На эксплуатационные затраты оказывают существенное влияние следующие факторы:

- состав номенклатуры подсистем, уровень их унификации, конструктивная, технологическая и эксплуатационная совместимость;
- резервный фонд образцов, необходимый для замены образцов, отправленных в ремонт;
- универсальность в техническом обслуживании (технология, технические средства);
- надежность изделий и их составных частей, долговечность, безотказность, ремонтпригодность;
- уровень специализации и кооперирования производства изделий, их составных частей, достижения высокой концентрации ремонтного производства.

Затраты на эксплуатацию в общей сумме расходов на решение поставленных перед СС задач в течение длительного периода оснащения (более 15 лет) составляет 50-70% [7]. И их учету и снижению необходимо уделить особое внимание.

Снижение стоимости ремонта достигается созданием передовой технологии ремонта, специализацией оборудования, снижением удельного веса постоянных затрат в

себестоимости ремонта, что может быть реализовано только на крупных предприятиях при высоком уровне унификации основных подсистем СС.

Ремонт и техническое обслуживание образцов СС являются одним из специфических видов производства, во многом сходных с серийным производством. Особенно велико это сходство при капитальном ремонте радиоэлектронных средств. Так, при проведении капитального ремонта радиоэлектронной техники, необходимо осуществлять почти полную разборку изделий до отдельных деталей, проверку их технического состояния, изъятия неисправных деталей и элементов, поставку совершенно новых комплектующих, сборку крупных составных частей и образцов в целом. Поэтому и для предприятий капитального ремонта можно применить закон массового производства. Рациональная концентрация ремонтного производства приводит к снижению стоимости ремонта.

Эти закономерности подтверждаются также для предприятий авиационно-ракетной промышленности. Так, себестоимости капитального ремонта от количества изделий, поступивших в ремонтное предприятие в течение года можно представить в виде:

$$\tilde{C}_{\text{к.р.}} = C_0 + B/N_{\text{и}} \quad (10)$$

где  $C_0$  - средняя величина текущих затрат предприятия на ремонт одного изделия данного вида;

$N_{\text{и}}$  - количество изделий данного вида, поступивших в ремонтное предприятие в течение года;

$B$  - постоянные затрат ремонтного предприятия, приходящие на изделие данного вида.

Зависимость (10) можно использовать и для оценки себестоимости производства продукции. Но методы определения величин  $B$  и  $C_0$  для ремонтных предприятий будут существенно отличаться от производственных, в которых часть агрегатов, блоков и деталей имеют различные уровни повреждений, а часть не требует их замены и ремонта. Так в одном изделии 70% входящих комплектующих требуется заменить новыми элементами, а в другом 20%. И для ремонта этих двух разных изделий будут отличаться переменные текущие затраты на ремонт.

Поэтому для каждого образца в ремонтном предприятии должна статистическим образом определяться величина  $C_0$ . Величину  $B$  необходимо оценить в зависимости от того, какая часть оборудования ремонтного предприятия и его производственных площадей будет использована для ремонта данного изделия. Если удельный вес

оборудования предприятия и его производственных площадей, используемых для ремонта  $j$ -ого изделия в течение года, составляет величину  $\gamma_j \approx 0,3$ , то  $B_j = \gamma_j \cdot \Pi = 0,3 \cdot \Pi$ , где  $\Pi$  – постоянные затраты ремонтного предприятия.

На рис. 2. представлена зависимость стоимости ремонта авиационных двигателей от количества поступающих на капитальный ремонт изделий.

Удешевление стоимости ремонта при увеличении количества изделий обусловлено внедрением более производительной технологии, специализированного оборудования, уменьшением стоимости разработки ремонтной документации и постоянных затрат ремонтного предприятия, приходящихся на одно ремонтируемое изделие.

Важнейший эксплуатационный параметр изделия – коэффициент готовности:

$$K_r = T / (T + T_b) \quad (11)$$

где  $T$  – среднее время исправной работы изделия (среднее время эксплуатации);

$T_b$  – среднее время перехода изделия из состояния отказа в исправное (среднее время восстановления).

Высокий уровень эксплуатационного сервиса уменьшает время восстановления  $T_b$  и тем самым увеличивает коэффициент готовности  $K_r$ . Из опыта известно, что времени нахождения в эксплуатации  $T$  существенно зависит от его долговечности  $T_d$ . Эту зависимость можно представить в виде:

$T = \eta \cdot T_d$ , где  $\eta$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от вида техники, частоты процесса ее обновления (при длительном отсутствии обновления величина  $\eta = 2 - 3$  и более).

Коэффициент  $K_r$  увеличивается с повышением долговечности изделия и уменьшается с увеличением времени ремонта. Это обстоятельство особенно важно во время боевых действий для тех изделий, для которых в подразделениях и частях (у потребителя) не создается резервного фонда (запасных изделий) для компенсации отправленных в ремонт изделий. Объем резервного ремонтного фонда растет при увеличении времени  $T_b$  восстановления:

$$\Delta m_i = \frac{m_i}{1 + T_d / T_{bi}} \quad (12)$$

где  $m_i$  – количество изделия  $i$ -той номенклатуры по штату;

$\Delta m_i$  – необходимый резервный ремонтный фонд  $i$ -тых изделий. Тогда дополнительные расходы  $\Delta C_i$  на создание резервного ремонтного фонда изделий  $i$ -того типа будут составлять:

$$\Delta C_i = C_i \cdot \Delta m_i = \frac{C_i \cdot m_i}{1 + \eta T_d / T_{bi}} = \frac{C_i \cdot m_i}{1 + T / T_{bi}} \quad (13)$$

где  $C_i$  - стоимость производства  $i$ -того изделия.

Для уменьшения расходов на создание резервного ремонтного фонда изделий надо повышать долговечность  $T_d$  изделий и уменьшать время  $T_b$  нахождения изделий в ремонте. При сокращении номенклатуры изделий путем их унификации ремонт можно проводить по поточной системе, что позволяет уменьшить время ремонта в 1.3-1.4 раза, и снизить стоимость резервного фонда. Уменьшение времени на ремонт увеличивает продолжительность активного эксплуатационного периода. Идеальным изделием для потребителя были бы такие, которые вообще не требуют ремонта, или изделия с малым временем ремонта.

Сокращение сроков ввода в эксплуатацию полученной войсками или предприятиями техники является большим резервом повышения экономической эффективности предприятий. Вследствие несвоевременного ввода полученной техники в эксплуатацию возникают большие экономические потери, достигающие 10-40% от ожидаемого эффекта.

За счет повышения качества (долговечности, безотказности, ремонтпригодности) и создания образцов техники с высоким удельным весом унифицированных составных частей может быть обеспечено существенное снижение затрат на этапе их эксплуатации за счет следующих факторов:

- уменьшения повторных поставок для замены изделий, у которых истек срок службы;
- уменьшение резервного фонда для замены изделий, отправленных в ремонт;
- существенного сокращения потребностей в ремонте, сокращения времени и стоимости ремонта (уменьшения величин  $T_b$ ,  $C_i$ , увеличения долговечности  $T_d$ ).

### **3. Обоснование типажа СС и их основных подсистем.**

#### **3.1. Описание проблемы.**

Одним из наиболее рациональных способов сведения многообразия образцов, их составных частей к конструктивно и технически улучшенному единообразию является обоснование типажа СС.

Типаж вида СС - технически и экономически рациональная по номенклатуре и основным параметрам совокупность образцов (изделий) типоразмерного ряда, объединенная общностью назначения и технологии производства. Исходными данными для формирования типажа изделий и их основных подсистем являются требования Заказчика, сформулированные на конкретный период времени (15, 20, 25 лет).

На основе требований Заказчика научно-исследовательская и проектные организации устанавливают основные типы и номенклатуру базовых изделий и их наиболее значимые характеристики, основные подсистемы, агрегаты, функционально законченные устройства, по которым необходимо проводить тиражирование.

Выбор типажа и рациональной номенклатуры основных систем изделий, т.е. выбор типологии, необходимо проводить на базе системного подхода путем расчленения общей задачи на ряд более простых взаимосвязанных задач разных уровней:

- типажа на уровне образцов;
- типажа (основной номенклатуры) на уровне основных подсистем;
- номенклатуры крупных составных частей (агрегатов, функционально-законченных устройств, модулей, блоков);
- номенклатуры основных механизмов, отдельных приборов, источников питания, усилителей, преобразователей и др.

Обеспечение рациональной типологии техники на любом уровне стоит в сокращении ее номенклатуры, и достижении технической совместимости подсистем, технологической общности производства, совместимости при их эксплуатации (обслуживании, хранении, ремонте) обеспечении комплектовании парка подсистем в периоды длительной эксплуатации (15-20 лет), это позволяет снизить расходы на эксплуатацию, обслуживание за счет специализации ремонта, повышения серийности изготовления ЗИП, уменьшения продолжительности ремонта, повышения готовности техники к применению.

Так, при сокращении номенклатуры, составных частей в 2 раза и повышении объема выпуска унификационных подсистем в 2 раза достигается уменьшение стоимости изделия на 20, существенно уменьшаются затраты на обслуживание и ремонт, сокращается время на освоение производства новых образцов примерно в 2 раза, объем и затраты конструкторской и технологической подготовки снижаются на 50-60%. Проблема обоснования типажа наиболее успешно решается, если она ставится на самых начальных стадиях создания СС. Правильное решение требует проведение исследований по задачам всех уровней на основе основного системного принципа: «Иерархия системы» - «Иерархия задач» - «Иерархия критериев».

Обеспечение рациональной унификации систем имеет особенности их проектирования. Для каждого уровня конструктивного деления техники (образец, подсистема, агрегат и т.д.) выделяются базовые (основные) технические решения, обладающие большой общностью (возможностью применения в различных образцах, подсистемах).

Такой подход позволяет обеспечить высокую техническую конструктивную нологическую (производственную) и эксплуатационную. Это существенно повышает возможности организации массового и крупносерийного производства, кооперации и специализации, роста масштабов производства, снижения себестоимости производства как конечных образцов, так и входящих в состав подсистем, агрегатов, модулей, блоков.

Техническая (конструктивная) совместимость должна обеспечиваться в следующих направлениях: функциональном (по техническим характеристикам в соответствии с назначением), размерно-геометрическом и физико-механическом, энергетическую (по виду и показателям необходимого энергоснабжения и потребления), информационном (типу сигналов, их частоте, коду, объему информации, временным характеристикам).

Технологическая совместимость предполагает одинаковые требования к необходимому составу оборудования для производства различных подсистем одинакового функционального назначения, применения типовых технологий производства подсистем и их составных частей.

Эксплуатационная совместимость состоит в обеспечении применения одинаковых расходных средств во время эксплуатации (топлива, энергоснабжения, ЗИП и др.), одинаковых средств технического обслуживания (средств контроля, измерений, аппаратуры), оборудования для ремонта, хранения, проверки технического состояния.

За счет применения унификация основных подсистем в составных частей изделий может быть обеспечено существенное увеличение объема их производства без расширения числа заводов и цехов путем их наиболее целесообразной специализации: предметной, поддетальной и технологической обеспечено повышение качества изготовления по типовым технологиям при больших объемам выпуска, тщательно отработанных процессах изготовления, сборки и контроля качества.

Обоснование и оптимизация номенклатуры основных подсистем СС является предварительным этапом, в результате выполнения которого формируются альтернативные варианты по основным подсистемам, для дальнейших исследований.

Наиболее важными задачами, решаемыми при выборе номенклатуры основных систем ракеты являются:

- обоснование требований к функциональным показателям этой подсистемы, т.е. должны быть выбраны главные характеристики этой подсистемы, их дискретные значения, от которых существенно зависят возможности и уровни решения основных задач данной подсистемой;

- определение направлений и реальных возможностей снижения затрат на разработку и серийное производство подсистем.

На этапе обоснования номенклатуры основных подсистем не рассматриваются затраты на их эксплуатацию, так как они должны рассматриваться не на уровне подсистем, а на уровне образцов изделий.

Так, например, в качестве главных (входных) характеристик можно принять:

- для целевой нагрузки – тип и массу;
- для системы наведения – тип и ошибку наведения.

Математическая модель обоснования рационального типажа СС должна учитывать как показатели эффективности и надежность, так и затраты на НИОСС, серийное производство и эксплуатацию.

### **3.2. Модель обоснования типажа.**

Для математической формализации модели оптимизации типажа СС, должны быть:

- известен объем основных задач воздушного, в функции главного параметра;
- заданы (обоснованы и предложены) варианты изделия (намечаемых к разработке, разрабатываемых, или серийно выпускаемых), способных выполнять ряд сформулированных задач;
- известны (обоснованы и предложены) основные технические характеристики для рассматриваемых вариантов изделий;
- производственно-экономические характеристики (стоимость разработки  $C_p$ , серийного производства  $C_u$ , годовой эксплуатации  $C_{1гэ}$ ).

От числа учитываемых в этих показателях параметров будет зависеть сложность математической формализации задачи оптимизации их типажа, сложность ее решения. Прежде от тех параметров, которые в наибольшей степени влияют на функциональное назначение изделия.

Задача обоснования рационального типажа может быть сформулирована следующим образом. Для принятого основного сценария действия, заданного количественного распределения дальности пуска  $X$  по основным объектам, требуемого уровня  $W_{\Sigma k} = const$  рациональным является такой типаж изделий, который обеспечивает минимум полных затрат на разработку, серийное производство и эксплуатацию всех входящих в него образцов и их модификаций в течение заданного периода времени  $T=15$  (25) лет.

Из данной постановки задачи следует, что критерием рациональности типажа могут быть приняты полные минимальные затраты на выполнение операций, т.е.

$$K = \min C_{оп}, \text{ при } W_{\Sigma k} = const$$



Например, стоимость выполнения операции беспилотным летательным аппаратом (БЛА), с заданной вероятностью можно представить в виде суммы трех составляющих: затраты на необходимое количество БЛА, затраты на потерянные носители, затраты на оставшиеся носители, т.е. [3, 5]

$$C_{\text{оп}} = C_{1\text{п}}n + (R_{\text{н}} - \tau_{\text{н}})C_{\text{нт}} \cdot \Delta N_{\text{н}} + (N_{\text{н}} - \Delta N_{\text{н}})C_{\text{нт}} \cdot \tau_{\text{оп}} \quad (14)$$

где  $C_{1\text{п}}$  - стоимость одного пуска СС;

$n$  - потребное количество;

$R_{\text{н}}$  - ресурс носителя в часах;

$\tau_{\text{н}}$  - общий налет носителя в часах до применения;

$C_{\text{нт}}$  - удельная стоимость носителя, приходящая на один час носителя;

$\Delta N$  - количество потерянных носителей.

Потребное количество БЛА, можно оценить по соотношению [5]

$$n = \frac{\lg(1-W_{\Sigma})}{\lg(1-W_1)} \quad (15)$$

где  $W_1$  - вероятность выполнения задачи одним БЛА;

$$W_1 = W_i W_{\text{БЧ}} W_{\text{н}} (1 - P_{\text{пво}}) \quad (16)$$

здесь  $W_i$  - вероятности выполнения промежуточных фаз.

Потери носителей могут быть определены по формуле:

$$\Delta N = \frac{L}{V_{\text{н}}} \sum_{i=1}^m a_i P_i \quad (17)$$

где  $L$  - расстояние, которое проходит группа ЛА в зоне обстрела ПВО;

$V_{\text{н}}$  - средняя скорость полета ЛА;

$a_i$  - число атак по группе ЛА, совершаемых  $i$ -м типом средств ПВО в единицу времени на данном ТВД;

$P_i$  - вероятность воздействия на ЛА.

Удельная стоимость одного часа полета носителя можно оценить по материалам работ с учетом стоимости самолета-носителя, которая  $\gamma_{\text{н}}$ - раз выше, чем стоимость размещенных ракет ( $\gamma_{\text{н}} \approx 20 \div 30$  и более) [7,14].

Для примера рассмотрим перечень и форму представления информации, которая необходима для оптимизации типажа СС:

- распределение количества объектов по типам, диапазонам дальности пуска  $Q_{kS}(X_S)$  и требуемой вероятности воздействия на  $k$ -тые объекты  $W_{\Sigma k}$ , табл. 1.

- условная вероятность воздействия  $W_{k(i,j)}$  на  $k$ -тые объекты СС с  $i$ -ой целевой нагрузкой (ЦН),  $j$ -ой системой наведения, обеспечивающую  $E_j$  величину срединной ошибки наведения, табл. 2.

- стоимостные показатели вариантов комплектации образцов СС, табл. 4.

Таблица 1

Номер диапазона дальности	Диапа зон дальностей, X, км	Номера объектов, их число $Q_{ks}$ в -том диапазоне X			
		Объект №1	Объек т №2	Объек т №3	Объек т №4
S=1	0-50	$Q_{11}$	$Q_{21}$	$Q_{31}$	$Q_{41}$
S=2	50-150	$Q_{12}$	$Q_{22}$	$Q_{32}$	$Q_{42}$
S=3	150- 300	$Q_{13}$	$Q_{23}$	$Q_{33}$	$Q_{43}$
S=4	300- 500	$Q_{14}$	$Q_{24}$	$Q_{34}$	$Q_{44}$
S=5	500 и более	$Q_{15}$	$Q_{25}$	$Q_{35}$	$Q_{45}$
Общее число объектов $\sum Q_{ks}$		$\sum_{s=1}^5 Q_{1s}$	$\sum_{s=1}^5 Q_{2s}$	$\sum_{s=1}^5 Q_{3s}$	$\sum_{s=1}^5 Q_{4s}$
Требуемая вероятность поражения объекта $W_{\Sigma k}$		0,9	0,85	0,8	0,8

Таблица 2.

номер i БЧ, масса $m_i$ , кг	Номер K и название объектов противника											
	K=1			K=2			K=3			K=4		
	Номер j СН и величина $E_j$ средней ошибки наведения, м											
	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_1$	$E_2$	$E_3$
=1, = =	$W_{1(1,1)}$	$W_{1(1,2)}$	$W_{1(1,3)}$	$W_{2(1,1)}$	$W_{2(1,2)}$	$W_{2(1,3)}$	$W_{3(1,1)}$	$W_{3(1,2)}$	$W_{3(1,3)}$	$W_{4(1,1)}$	$W_{4(1,2)}$	$W_{4(1,3)}$
=2, = =	$W_{1(2,1)}$	$W_{1(2,2)}$	$W_{1(2,3)}$	$W_{2(2,1)}$	$W_{2(2,2)}$	$W_{2(2,3)}$	$W_{3(2,1)}$	$W_{3(2,2)}$	$W_{3(2,3)}$	$W_{4(2,1)}$	$W_{4(2,2)}$	$W_{4(2,3)}$

=3, =	$W_{1(3,1)}$	$W_{1(3,2)}$	$W_{1(3,3)}$	$W_{2(3,1)}$	$W_{2(3,2)}$	$W_{2(3,3)}$	$W_{3(3,1)}$	$W_{3(3,2)}$	$W_{3(3,3)}$	$W_{4(3,1)}$	$W_{4(3,2)}$	$W_{4(3,3)}$
----------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

На основании приведенных в табл. 1 и 2 исходных данных: количества  $s$ -ых объектов для  $s$ -го диапазона дальностей  $Q_{ks}$ , суммарной (требуемой) вероятности их воздействия  $W_{\Sigma k}$ ; вероятности поражения  $k$ -той цели одной СС, оснащенный  $i$ -ой ЦН и  $j$ -ой системой наведения,  $W_{k(i,j)}$  можно определить количество (наряд) СС, необходимых для воздействия на  $k$ -ой цель с заданной вероятностью по соотношению:

$$n_{k(i,j)} = Q_{ks} \frac{\lg(1-W_{\Sigma k})}{\lg(1-W_{k(i,j)})} \quad (18)$$

Результаты расчета потребного наряда СС для всех вариантов комплектации ЦН и СН можно представить в табл. 3.

Таблица 3

Вариант комплектации СС, различными ЦН и СН	Ма сса ЦН, $m_i$	Ош ибка наведения СН, $E_j$	Общее количество $s$ -ых объектов поражения			
			$Q_{1s}$	$Q_{2s}$	$Q_{3s}$	$Q_{4s}$
$i=1, j=1$	$m_{i=1}$	$E_{j=1}$	$n_{1(1,1)}$	$n_{2(1,1)}$	$n_{3(1,1)}$	$n_{4(1,1)}$
$i=1, j=2$	$m_{i=1}$	$E_{j=2}$	$n_{1(1,2)}$	$n_{2(1,2)}$	$n_{3(1,2)}$	$n_{4(1,2)}$
$i=1, j=3$	$m_{i=1}$	$E_{j=3}$	$n_{1(1,3)}$	$n_{2(1,3)}$	$n_{3(1,3)}$	$n_{4(1,3)}$
$i=2, j=1$	$m_{i=2}$	$E_{j=1}$	$n_{1(2,1)}$	$n_{2(2,1)}$	$n_{3(2,1)}$	$n_{4(2,1)}$
$i=2, j=2$	$m_{i=2}$	$E_{j=2}$	$n_{1(2,2)}$	$n_{2(2,2)}$	$n_{3(2,2)}$	$n_{4(2,2)}$
$i=2, j=3$	$m_{i=2}$	$E_{j=3}$	$n_{1(2,3)}$	$n_{2(2,3)}$	$n_{3(2,3)}$	$n_{4(2,3)}$
$i=3, j=1$	$m_{i=3}$	$E_{j=1}$	$n_{1(3,1)}$	$n_{2(3,1)}$	$n_{3(3,1)}$	$n_{4(3,1)}$

$j=2$	$i=3,$	$m_{i=3}$	$E_{j=2}$	$n_{1(3,2)}$	$n_{2(3,2)}$	$n_{3(3,2)}$	$n_{4(3,2)}$
$j=3$	$i=3,$	$m_{i=3}$	$E_{j=3}$	$n_{1(3,3)}$	$n_{2(3,3)}$	$n_{3(3,3)}$	$n_{4(3,3)}$

Варианты комплектации, для которых потребный наряд СС равен нулю или имеют близкие к нулю значения должны быть исключены из дальнейшего рассмотрения. Для некоторых малоэффективных вариантов потребный наряд ракет может оказаться настолько большим, что не под силу промышленности производить их серийно. Эти варианты тоже должны быть исключены из анализа.

Для проведения сравнительного анализа комплектации СС по критерию минимальные затраты на выполнение операции с заданной вероятностью, кроме потребного наряда ударных средств, необходимо иметь модели оценки технико-экономических показателей каждого (i, j)-го изделия, а именно:

$C_{p(i,j)}$  - стоимости разработки (НИОСС);

$C_{u(i,j)}$  – стоимости серийного изготовления (производства) изделия;

$C_{1\text{э.г.}(i,j)}$  - стоимость годовой эксплуатации одного изделия;

$T_{д(i,j)}$  - срок службы изделия;

$T_{(i,j)}$  – время нахождения каждой ракеты на оснащение войск.

Экономические показатели каждого (i, j)-го варианта можно представить в виде табл. 4.

Таблица 4.

Вариант комплектации (i, j)	Стоимостные показатели			Временные показатели	
	$C_p$	$C_u$	$C_{1\text{э.г.}}$	$T_{д}$	$T$
$i=1, j=1$	$C_{p(1,1)}$	$C_{u(1,1)}$	$C_{1\text{э.г.}(1,1)}$	$T_{д(1,1)}$	$T_{(1,1)}$
$i=1, j=2$	$C_{p(1,2)}$	$C_{u(1,2)}$	$C_{1\text{э.г.}(1,2)}$	$T_{д(1,2)}$	$T_{(1,2)}$
$i=1, j=3$	$C_{p(1,3)}$	$C_{u(1,3)}$	$C_{1\text{э.г.}(1,3)}$	$T_{д(1,3)}$	$T_{(1,3)}$
$i=2, j=1$	$C_{p(2,1)}$	$C_{u(2,1)}$	$C_{1\text{э.г.}(2,1)}$	$T_{д(2,1)}$	$T_{(2,1)}$
...	...	...	...	...	...
$i=f, j=m$	$C_{p(f,m)}$	$n_{2(f,m)}$	$C_{1\text{э.г.}(f,m)}$	$T_{д(f,m)}$	$T_{(f,m)}$

При определении полных затрат на один пуск (i, j)-го варианта необходимо учитывать и то, что в процессе эксплуатации могут осуществиться повторные поставки для замены выслуживших свой срок изделий. Условием необходимости новых поставок является  $T \gg T_d$ , где  $T$  - общее время нахождения (i, j)-го варианта на оснащении войск,  $T_d$  - долговечность (срок службы) изделия. Поэтому стоимость одного пуска  $C_{1п}$  с учетом затрат на разработку, серийное производство и эксплуатацию изделия можно оценить по соотношению:

$$C_{1п(i,j)} = C_{p(i,j)} \frac{1}{N_k} + C_{u(i,j)} \frac{T}{T_d} + C_{1э.г.(i,j)} \cdot T \quad (19)$$

Результаты расчетов  $C_{1п(i,j)}$  можно представить в виде табл. 5.

Таблица 5.

Вариант комплектации (i, j)	$C_p \frac{1}{N}$	$C_u \frac{T}{T_d}$	$C_{1э.г.} \cdot T$	$C_{1п}$
i=1, j=1	+	+	+	+
i=1, j=2	+	+	+	+
i=1, j=3	+	+	+	+
i=2, j=1	+	+	+	+
...	...	...	...	....
i=f, j=m	+	+	+	+

На основе результатов расчетов требуемого количества СС, необходимых для поражения -ых целей с заданной вероятностью (табл. 3) и суммарных затрат на один пуск (табл. 5) можно произвести сравнительный анализ альтернативных вариантов по выбранному критерию минимальные затраты на выполнение операции с заданной вероятностью [2, 6].

Результаты расчетов критерия по каждому варианту можно представить в виде табл. 6. При длительном нахождении изделия в серийном производстве и эксплуатации (более 15 лет) затраты на НИОКР обычно относят к первоначально определенному объему выпуска  $N$ . Для дополнительных объемов выпуска затраты на НИОКР можно считать компенсированными.

Таблица 6

Вариант комплектации (i, j)	Стоимость воздействия на k -ые цели			
	$\Sigma Q_{1s}$	$\Sigma Q_{2s}$	$\Sigma Q_{3s}$	$\Sigma Q_{4s}$

$i=1, j=1$	-	-	-	+
$i=1, j=2$	-	-	-	+
$i=1, j=3$	-	-	+	+
$i=2, j=1$	+	+	+	+
...	...	...	...	...
$i=f, j=m$	+	+	+	+

На базе полученных результатов расчета (табл. 6) может быть выбран оптимальный вариант типажа и комплектации различными типами унифицированных систем ( $i$ -ЦН,  $j$ -СН). По аналогичной схеме в анализ могут быть включены и варианты унификации ДУ ( $r$ ), планера ( $d$ ) и других подсистем ракеты.

Таким образом вышеприведенный методологический аппарат может быть использован для обоснования рационального типажа СС с учетом унификации их основных подсистем.

На основе результатов представленных в итоговой табл. 6. могут быть проведены исследования по чувствительности влияния типажа, отдельных подсистем СС и их характеристик на критерий рациональности.

### Литература

1. Брусов В. С., Баранов С. К. Оптимальное проектирование летательных аппаратов. Многоцелевой подход. – М.: Машиностроение, 1989.
2. Батищев Д. И. Методы оптимального проектирования. – М.: Машиностроение, 1984.
3. Гусейнов А. Б. Методология проектирования, эффективность и надежность комплексов ЛА. – М.: МАИ, 1984.
4. Гусейнов А. Б., Трусов В. Н. Проектирование крылатых ракет с ТРД. – М.: МАИ, 2003.
5. Гусейнов А. Б. Эффективность крылатых ракет. – М.: МАИ, 2003.
6. Дюран Б., Оделл П. Кластерный анализ. – М.: Статистика, 1977.
7. Дракин И. И. Основы проектирования беспилотные ЛА с учетом экономической эффективности. – М.: Машиностроение, 1973.
8. Жданов С. А. Методы и рыночная технология экономического управления. – М.: Дело и сервис, 1999.

9. Жданов С. А. Механизмы экономического управления предприятием. Учебное пособие. – М.: ЮНИТИИ, 2002.
10. Ильичев А. В., Грущанский В. А. Эффективность адаптивных систем. – М.: Машиностроение, 1987.
11. Ильичев А. В., Волков В. А., Грущанский В. А. Эффективность проектируемых элементов сложных систем. – М.: Высшая школа, 1982.
12. Пиявский С. А., Брусов В. С., Хвилон Е. А. Оптимизация параметров многоцелевых летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1974.
13. Родионов Б. В., Новичков Н. Н. Крылатые ракеты в морском бою. – М.: Воениздат, 1987.
14. Саркисян С. А., Минаев Э.С. Экономическая оценка летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1972

### **15. Сведения об авторе.**

Гусейнов Арсен Буйдалаевич профессор, Московского авиационного института (национального исследовательского университета), д.т.н., тел.: 8(495)454-12-31; 8(916)537-27-40, e-mail: a.b.guseynov@mail.ru