Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

«Балтийский Государственный Технический Университет

«Военмех» им. Д.Ф. Устинова»

Факультет А «Ракетно-космической техники»

Кафедра А3 «Космические аппараты и двигатели»

**Отчёт по производственной практике**

**«Методика оценки критериев надежности и экономических затрат на ранних этапах проектирования КА»**

**Выполнил:** Смирнов., гр.А3М32

**Проверил:** Бабук В.А.

Санкт-Петербург

2019 г.

Оглавление

[Введение 3](#_Toc8858219)

[1. Оценка вероятности безотказной работы 4](#_Toc8858220)

[2. Оценка экономических затрат 7](#_Toc8858221)

[Заключение 11](#_Toc8858222)

[Список литературы 12](#_Toc8858223)

# Введение

В предыдущей работе была изложена методика двухэтапного подхода принятий решений на начальных этапах создания КА.

Согласно этой методики первый этап является качественным и основная его задача выбор из большого числа решений пары опорных вариантов для их более качественной проработки.

На втором этапе происходит количественная оценка опорных вариантов по ряду критериев. В частности в прошлой работе были обозначены критерии надежности и экономических затрат. В данной работе описаны методики оценки данных критериев.

# Оценка вероятности безотказной работы

Для оценки вероятности безотказной работы (ВБР) на начальном этапе проектирования составляется структурно-функциональная схема надежности (СФСН). Схема отображает влияние работы отдельных элементов на работоспособность системы в целом. В общем случае схема подразумевает три вида соединяя элементов. Однако, в виду того, что на начальном этапе проектирования производится приблизительная оценка ВБР, введем следующие допущения:

* СФСН состоит из структурных единиц ;
* структурные единицы соединены последовательно.

Тогда ВБР системы развертывания будет равняться произведению ВБР структурных единиц:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (1) |

Где ­ – вероятность безотказной работы *i-ой* системы развертывания;

– вероятность безотказной работы *j-ой* структурной единицы *i-ой* системы развертывания;

*n* ­– количество элементов в СФСН.

Под структурной единицей (СЕ) будем понимать совокупность связанных между собой элементов, механизмов и узлов конструкций обладающих общностью функциональных и структурных признаков.

На основании анализа конструкций систем развертывания проведённых ранее были выделены следующие виды СЕ:

1. Приводной механизм
2. Силовая конструкция
3. Элементы фиксации
4. Подэлементы системы развертывания

Далее приведены типы данных видов СЕ характерных для рассмотренных систем развертывания.

|  |  |
| --- | --- |
| №  типа | Тип приводного механизма |
| 1 | Электромеханический |
| 2 | Пневматический |
| 3 | Пружинные толкатели |

|  |  |
| --- | --- |
| №  типа | Тип силовой конструкции |
| 1 | Складная ферма |
| 2 | Складная балка |
| 3 | «Труба в трубе» |

|  |  |
| --- | --- |
| №  типа | Тип элемента фиксации |
| 1 | Пиростредства |
| 2 | Узел расчековки/ зачековки |

Подэлементы системы развертывания включают в себя те элементы, агрегаты и узлы участвующие в процессе развертывания и характерных для данной системы (механические передачи, клапаны и т.д.). Наличие данной единицы не обязательно.

При составлении СФСН структурную единицу приводных механизмов при возможности разбивается на «подединицы». Так например, пневмопривод будет состоять из баллона высокого давления, трубопроводов, управляющих клапанов и толкающих цилиндров.

При рассмотрении СР по типу силовой конструкции механическая надежность в постановке данной задачи не учитывается и рассматривается лишь ее структурная сложность. Для ферменных и балочных типов учитывается количество шарнирных узлов, а для телескопического типа (труба в трубе) количество направляющих минус 1.

После составления СФСН назначается ВБР выделенных единиц. В различной справочной литературе приводится интенсивность отказов большинства элементов\* и, зная время работы механизма можно вычислить его ВБР. Однако в виду того, время работы СР не превышает нескольких часов, то с большой степенью точности можно утверждать, что ВБР одного элемента в составленной СФСН не менее 0.999 . Тогда формула (1) примет вид:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2) |

В качестве примера рассмотрим оценку ВБР конструкции, описанную в патенте RU2461495. Согласно описанию эта конструкция типа «труба в трубе» имеет три секции, одна из которых объедена в единое целое с холодильником излучателем. Выдвижение секций осуществляется за счет электромеханического привода и направляющих зубчатых реек. После выдвижения секций осуществляется их фиксация. На рисунке 1 представлена СФСН данной системы.

1

1

2

Раздвижение ПАО (секции 1-2)

3

1

1

1

2

Раздвижение ХИ (секции 2-3)

3

Рисунок 1­­ – СФСН системы развертывания конструкции описанной в патенте RU 2461495:

*1-зубчатая рейка; 2- электромеханический привод;*

*3- устройство фиксации.*

Привод в свою очередь можно разбить на подединицы ― электродвигатель (ЭД) и редуктор. Традиционно в изделиях РКТ используют волноводные и планетарные редукторы. Они обеспечивают большие передаточные числа, а так же обладают относительно небольшой массой и габаритами. Из этих двух типов редукторов, планетарные наиболее технологичны и дешевле в производстве поэтому получили наибольшее распространение. Из практики ─ наименьшее количество ступеней планетарных двигателей 3. На рисунке 2 представлена СФСН электромеханического привода.

1

2

3

4

5

Рисунок 2 ­– СФСН электромеханического привода:

*1,2,3 – ступень редуктора; 4 – электродвигатель;5 – муфта.*

С учетом всего сказанного в формуле (2) *n =* 17, тогда оценка ВБР равна:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

В качестве другого примера рассмотрим конструкцию, описанную в патенте РФ 2225809. СР и ХИ так же объединены в единое целое. Излучающие поверхности размещены на шарнирных балках. Балки сложены в стартовом положении по трем продольным плоскостям вокруг энергетического блока.

Каждая секция фиксируется в начальном положении с помощью пиропатронов. Отодвижение осуществляется за счет наддува газонепроницаемого рукава. Рукав предварительно намотан на барабан снабженный э/м приводом. На рисунке 3 представлена СФСН первой секции описанной СР.

1

2

3

4

5

6

7

Рисунок 3 — СФСН *1-ой* секции конструкции описанной в патенте РФ 2225809:

*1–электромеханический привод; 2–барабан;*

*3–система наддува рукава; 4–рукав; 5,6,7-шарниры;*

*8–пираатронон.*

8

1-ая секция

Состав второй и третьей секций идентичен составу первой. Тогда с учетом состава э/м привода (рисунок 2) *n =* 20, оценка ВБР равна:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

Как видно, условная надежность первой системы выше. По критерию надежности она является более прерогативной и ей присваивается первый ранг.

# Оценка экономических затрат

ГОСТ Р 53791-2010 определяет следующие этапы жизненного цикла изделия:

- обоснование разработки;

- разработку ТЗ;

- проведение ОКР;

- производство и испытания;

- модернизацию;

- использование (эксплуатацию);

- ликвидацию.

С точки зрения оценки эконмических затрат на создания СР актуальным является этапы производства , испытания и эксплуатации т.к. затраты на все остальные этапы для разных СР будут практически идентичны.

Сформируем основные причины различия затрат на данные этапы.

Производство:

– затраты на применение материалы со специфическими требованиями (газонепроницаемый рукав);

– затраты на разный объём изготовления деталей одного назначения и из одних и тех же материалов (складные стержни и раздвижные трубы);

– создание оснастки для сборки.

Испытания:

– создание уникальных стендов и оснастки;

­– увеличение количества не однотипных решений ведет к увеличению количества вне комплексных испытаний (в патенте РФ 2225809 используется комбинация э/м и пневмоприводов).

Эксплуатация:

– использование непродуманных технических решений, которые требуют создания соответствующей оснастки и высокой квалификации обслуживающего персонала

Изложенные различия ведут к увеличению затрат на данные этапы.

При оценке затрат предлагается сгруппировать элементы систем в три группы:

1 – типовые элементы, механизмы и узлы используемые во всех сравниваемых СР.

2 – элементы, механизмы и узлы используемые в нескольких СР.

3 – уникальные элементы, механизмы и узлы.

Такой подход позволяет сразу убрать из сравнения затрат элементы первой группы при их одинаковых количествах, а для элементов второй группы установить одинаковый условный вес.

Для оставшихся элементов двух групп предлагается составить таблицы затрат на соответсвующих этапах.

В качестве основных затрат на этапе производства можно выделить затраты на закупку материалов и комплектующих, основная заработная плата рабочим и социальные отчисления, накладные расходы. В виду того, что на начальном этапе проектирования объем работ до конца не известен, то возможным представляется оценить затраты на закупку материалов. Помимо этого стоимость производства тех или иных узлов и механизмов возможно оценить исходя из стоимости аналогов, ранее освоенных предприятием.

Затраты в процессе испытаний определяются объемом испытаний. Определив предварительную программу испытаний, возможно оценить необходимость создания специальных стендов и оснастки, количество узлов и механизмов изготавливаемых для прохождения тех или иных этапов испытаний. Так для испытания СР патента RU2461495 будет необходимо проверить работоспособность всей СР, а так же провести отдельные климатические, вибрационных и ударные испытания приводов СР.

Для проверки работоспособности СР необходимо изготовить макет для испытаний ­ ­­- стоимость макета равна стоимости штатной СР, а так же стоимости испытательного стенда. Затраты на изготовления стенда не превышают половины стоимости штатного изделия, а порой могут сводиться к минимуму при использовании существующего задела.

Для проведения ряда климатических, ударных и прочих испытаний изготовляются редуктора идентичные штатным. Помимо этого изготавливается соответствующая оснастка ­– стоимость данной оснастки составляет порядка 0.1-0.4 от стоимости испытываемого образца.

Затраты на эксплуатацию на данном этапе оценить не представляется возможным, т.к. целиком зависят от инженерных решений применяемых в последующем.

Таким образом оценку затрат на систему развертывания можно представить в виде:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3) |

Где:

— оценка затрат на СР;

А — затраты на производство;

В — затраты на испытания.

В свою очередь:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4) |

Где:

— стоимость производства аналогичной структурнй единицы /подъедиицы;

*—* количество структурных единиц/подъединиц для которых был найден аналог;

— удельная стоимость материала;

— условный удельный объем (для труб длина при заданной толщине и наружном диаметре, для баллонов площадь поверхность при заданной толщине листа и т.д.);

— коэффициент учитывающий накладные расходы при производстве >1;

— количество структурных единиц/подъединиц для которых рассчитываются затраты материалов.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (5) |

Где:

— количество испытаний;

— количество структурных единиц участвующих в испытаниях;

— коэффициент стоимости оснастки (назначается либо из статистики предприятия, либо по рекомендациям изложенными выше);

— коэффициент стоимости испытательного стенда;

— стоимость производства штатной структурной единицы.

В качестве примера рассмотрим оценку стоимости СР описанных ранее в патентах RU2461495 и РФ 2225809. Для удобства описания присвоим им порядковые номера 1 и 2 соответственно.

Оценка стоимости первой системы.

Из опыта работы предприятия при разработке макета стоимость изогридных труб находится в районе 700 — 1000 тыс.руб.[4]. С учетом опыта выпуска э/м приводов предприятием затраты на производство одной единицы находятся в диапазоне 300-500 тыс.руб. Стоимость партии прутков стали 45 ГОСТ 1050 длиной в среднем составляет 50 тыс.руб.(при закупки партии превышающий требуемый объем материла учитываем стоимость партии). С учетом требований к рейки примем Стоимостью средств фиксации можно пренебречь, т.к. они фигурируют в обоих системах. Так же с целью обеспечения надежности необходимо дублировать механический привод и в результате на каждую секцию приходится как минимум по два привода. Учтем максимальные затраты. Тогда затраты на производство первой СР можно оценить как :

|  |
| --- |
|  |

Согласно предварительной программе испытаний система должна пройти функциональные испытания на работоспособность. Также привода должны отдельно пройти испытания на работоспособность, климатические и ударные испытания. Для проведения испытания приводов будут изготовлены два образца () и дополнительная оснастка () , по испытательскому стенду будет использован существующий задел (). Для проведения функциональных испытаний СР развёртывания изготавливается

одна штатная единица СР (), для данных испытаний испытательный стэнд и оснастка объединены в единое целое (). Затраты на проведения испытаний:

|  |
| --- |
|  |

Оценки затрат на первую систему развёртывания:

|  |
| --- |
|  |

Оценка стоимости второй системы.

Система наддува 200 — 300 тыс. руб, изготовление рукава 1800-2000 тыс руб, стоимость одного стержня — 200 стоимость шарнирных узлов на данном этапе оценить не представляется возможным.

|  |
| --- |
|  |

Согласно предварительной программе испытаний система также должна пройти функциональные испытания на работоспособность. Также привода должны отдельно пройти испытания на работоспособность, климатические и ударные испытания. Для проведения испытания приводов будут изготовлены два образца () и дополнительная оснастка () , по испытательскому стенду будет использован существующий задел (). Так же система наддува должна пройти испытания на герметичность (, ) Для проведения функциональных испытаний СР развёртывания изготавливается

одна штатная единица СР (). Для данных испытаний испытательный стенд значительно усложняется по сравнению с испытаниями предыдущей системы, т.к. помимо усложнении системы обезвешивания появляется требование к измерению травления рукава ().

Оценка затрат на проведения испытаний:

|  |
| --- |
|  |

Оценки затрат на вторую систему развёртывания:

|  |
| --- |
|  |

По результатам данных оценок затрат первой системе развертывания присваивается первый ранг предпочтительности, как наиболее выгодному проекту.

# Заключение

В данной работе были изложены методики количественной оценки параметров надежности (в частности вероятности безотказной работы) и экономических затрат на начальных этапах проектирования.

Помимо изложения методики представлен пример расчета данных критериев.

По результатам расчетов двух критериев, первая система, описанная в патенте RU2461495 в сумме набрала два ранга и является более предпочтительней.

# Список литературы

1. Сырицын Т.А. //Эксплуатация и надежность гидро- и пневмоприводов: Учебник для вузов, Машиностроение, 1990;
2. Авдуевский В.С. //Надежность и эффективность в технике. Справочник в десяти томах., Машиностроение, 1986;
3. ГОСТ Р 53791-2010.
4. "РОСКОСМОС"Создание транспортно-энергетического модуля на основе ядерной энергодвигательной установки мегаваттного класса (шифр: ОКР "ТЭМ") [сайт] <http://zakupki.gov.ru/epz/order/notice/ep44/view/common-info.htm>l?regNumber=09950 00000 216000019 (дата обращения: 20.06.2019).