

## СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ НАЗЕМНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАНЖИРОВАННЫХ СЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ

**Ерофеев Михаил Юрьевич,**  
г. Королёв, Московская область, Россия.

**Аннотация.** В статье рассмотрены возможные способы повышения эффективности системы неразрушающего контроля на основе оптимизации состава контролируемых элементов. Показаны возможности использования ранжированных по критичности и вероятности отказов сетевых моделей для выбора оптимальных вариантов стратегий ремонтных работ, применения методов неразрушающего контроля при мониторинге состояния объектов наземной космической инфраструктуры, а также применения разрушающего контроля для получения и накопления информации о рассеивании сроков службы и выяснении причин потери работоспособности элементов наземной космической инфраструктуры.

**Ключевые слова:** наземная космическая инфраструктура; неразрушающий и разрушающий контроль; ресурс; система неразрушающего контроля; техническое состояние.

**Сведения об авторе:** Ерофеев М.Ю., ведущий научный сотрудник «НИИ КС имени А.А.Максимова» - филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М.В.Хруничева».

---

Исследование методами неразрушающего контроля (МНК) являются одними из основных видов работ, проводимых в ходе ремонта и технического обслуживания (Р и ТО) объектов наземной космической инфраструктуры (НКИ).

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что внедрение средств диагностирования с применением МНК является одним из важнейших факторов повышения экономической эффективности использования оборудования. Назначение диагностики – выявление и предупреждение отказов и неисправностей, поддержание эксплуатационных показателей в установленных пределах, прогнозирование состояния в целях полного использования доремонтного и межремонтного ресурса.

Основными методами неразрушающего контроля в соответствии с ГОСТ 18353-79. «Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов» являются:


- магнитный;
- электрический;
- вихретоковый;
- радиоволновой;
- тепловой;
- оптический;
- радиационный;
- акустический;
- проникающими веществами.

Р и ТО – необходимые этапы эксплуатации элементов (систем и агрегатов) НКИ. Снижение работоспособности элемента НКИ в процессе эксплуатации - неотвратимый процесс, протекающий в зависимости от конструкции элемента и условий его использования с большей или меньшей интенсивностью.

Предельным состоянием элемента НКИ считается такое состояние, при котором вероятность выхода его параметров за допустимые пределы достигнет установленного уровня. Начиная с этого момента, элемент нуждается в восстановлении утраченной работоспособности. Это достигается путем ремонта узлов и деталей, заменой износившихся частей запасными, регулировкой механизмов и другими методами.

Необходимость периодического исследования МНК и восстановления работоспособности элементов НКИ ставит перед эксплуатационниками очень сложную задачу выбора периодов времени между Р и ТО и установления их объемов.

Периодичность исследования МНК и ремонта элемента НКИ  $T_0$  в основном определяет содержание ремонтных работ, так как в зависимости от срока службы детали или узла они будут включаться в соответствующий текущий ремонт. Однако решение о включении данной детали в тот или иной ремонт осложняется тем, что возникает рассеивание сроков службы, которое приводит к недоиспользованию потенциальной долговечности детали или к возрастанию вероятности отказа в межремонтный период.

Фактический срок службы  $T_{\phi}$  должен быть кратным межремонтному периоду  $T_0$ , т.е.  (назначенный ресурс детали узла или изделия), так как восстановление детали планируется при текущем ремонте. В зависимости от рассеивания сроков службы узла или детали при среднем сроке службы  $T_{cp}$  большим, чем период до n-го планового ремонта (т.е.  $T_{cp} > nT_0$ ), возможны следующие варианты назначения  $T_{\phi}$  (см. рисунок 1) и соответственно стратегия ремонтных работ [1].

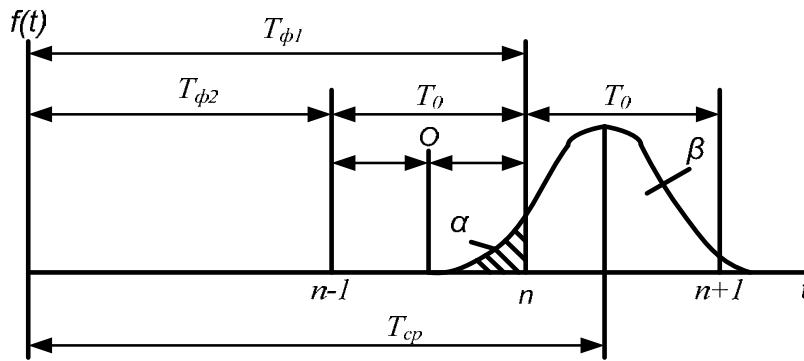


Рис. 1. Влияние рассеивания сроков службы деталей на содержание плановых ремонтов (исследования МНК)

Вариант 1. Исследование и ремонт данной детали (узла) осуществляется при n-м плановом ремонте, т.е. назначается  $T_{\phi1} = nT_0$ . При этом имеется некоторая вероятность  $\alpha$  отказа детали до наступления n-го ремонта. Если отказ наступил до планового ремонта, то деталь ремонтируется или заменяется при межремонтном обслуживании. Такой вариант обычно целесообразен, если вероятность отказа  $\alpha$  невелика, т.е. вероятность безотказной работы  $\beta = 1 - \alpha \geq P_{дон}(t)$ .

Вариант 2. Исследование и ремонт детали осуществляется при n-1 ремонте, т.е.  $T_{\phi2} = (n-1)T_0$ . В этом случае обеспечивается высокая безотказность изделия, однако его сроки службы значительно недоиспользуются, так как  $T_{\phi2} < T_{cp}$ .

Для особо ответственных элементов НКИ данный вариант может дополняться мониторингом их состояния на протяжении всего срока эксплуатации элемента (Вариант 2М).

Вариант 3. При n-1 ремонте производится контроль степени повреждения данной детали и дается заключение о возможности ее безотказной работы в течение последующего межремонтного периода. Диагностику можно осуществлять во время специально запланированного осмотра O. В зависимости от результатов контроля ремонт детали осуществляется при n-1 или при n-м ремонте.

Данный вариант обеспечивает наибольшее использование потенциального срока службы детали с одновременной гарантией высокой безотказности работы изделия. Однако он требует дополнительных затрат на диагностику, знания основных причин потери работоспособности и наличия методов и технических средств для обнаружения и оценки степени повреждения изделия.

Выбор оптимального варианта стратегии исследования МНК существенно влияет на показатели надежности и эффективности эксплуатации объектов НКИ. Предлагается при обосновании состава контролируемых элементов учитывать их влияние на своевременность выполнения технологических операций.

Объекты НКИ содержат, как правило, большое число элементов. В этих условиях обеспечить требуемые характеристики работоспособности системы путем улучшения качества одновременно всех

элементов вряд ли возможно, прежде всего, по экономическим причинам. Однако очевидно, что различные элементы в системе играют далеко не одинаковые роли, их отказы могут приводить к разным по степени влияния на состояние системы последствиям. Поэтому естественным является стремление сосредоточить усилия на совершенствовании методов определения состава контролируемых элементов, играющих в обеспечении работоспособности системы наиболее важную роль. С целью выявить роль конкретных элементов (и их различных комбинаций) в обеспечении работоспособности всей системы применяются специальные показатели. Наиболее широко распространены два из них – структурная важность элемента и критичность отказов элемента [2, 3]. Но они не могут быть полностью определены только свойствами элемента и должны определяться в рамках сложной системы, содержащей данный элемент.

В соответствии с ГОСТ 27.310-95 "Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения" каждому элементу НКИ может быть присвоена категория тяжести последствий отказов приведенная в таблице 1.

Таблица 1

Категории тяжести последствий отказов

Категория тяжести последствий отказов	Характеристика тяжести последствий отказов
IV	Отказ, который быстро и с высокой вероятностью может повлечь за собой значительный ущерб для самого объекта и/или окружающей среды, гибель или тяжелые травмы людей, срыв выполнения поставленной задачи.
III	Отказ, который быстро и с высокой вероятностью может повлечь за собой значительный ущерб для самого объекта и/или для окружающей среды, срыв выполняемой задачи, но создает пренебрежимо малую угрозу жизни и здоровью людей.
II	Отказ, который может повлечь задержку выполнения задачи, снижение готовности и эффективности объекта, но не представляет опасности для окружающей среды, самого объекта и здоровья людей.
I	Отказ, который может повлечь снижение качества функционирования объекта, но не представляет опасности для окружающей среды, самого объекта и здоровья людей.

В зависимости от вероятности появления отказа возможно произвести ранжирование отказов (таблица 2).

Таблица 2

Матрица «Вероятность отказа - тяжесть последствий»

Ожидаемая частота возникновения	Тяжесть последствий			
	Катастрофический отказ (категория IV)	Критический отказ (категория III)	Некритический отказ (категория II)	Отказ с пренебрежимо малыми последствиями (категория I)
Частый отказ	A	A	A	C
Вероятный отказ	A	A	B	C
Возможный отказ	A	B	B	D
Редкий отказ	A	B	C	D
Практически невероятный отказ	B	C	C	D

Используя методы структурного и функционального анализа взаимосвязи элементов НКИ при эксплуатации возможно построить сетевую модель функционирования объекта НКИ, в которой каждому элементу соответствует определенный элемент НКИ (деталь, узел, агрегат, система). На рисунке 2 приведен пример сетевой модели функционирования объекта НКИ.

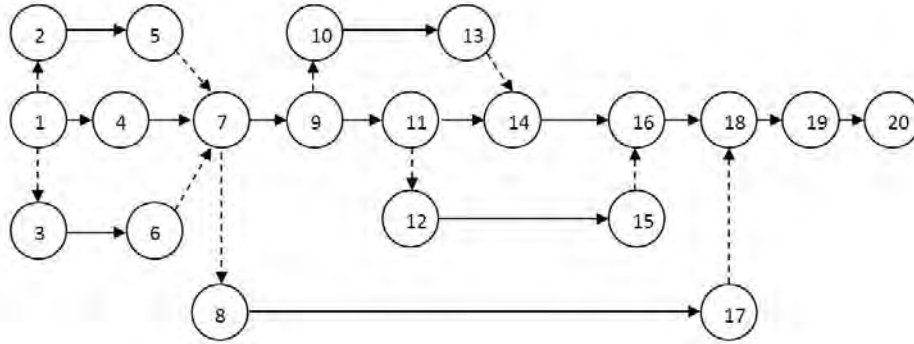


Рис. 2. Пример сетевой модели функционирования объекта НКИ

Присваивая каждому элементу в сетевой модели ранг в соответствии с таблицей 2 получаем ранжированную сетевую модель по критичности и вероятности отказов элементов (рисунок 3). С помощью данной модели возможно разделить участки пути по степени их критичности, что в свою очередь позволит выбрать оптимальные варианты стратегии исследования МНК для элементов или групп элементов НКИ.

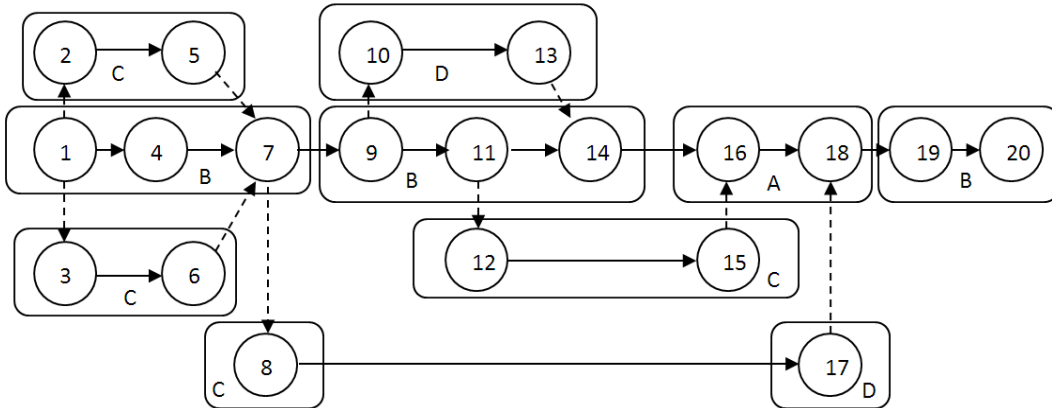


Рис. 3. Ранжированная сетевая модель по критичности и вероятности отказов элементов

Вторым направлением повышения эффективности системы контроля является применение наряду с МНК и разрушающего контроля. Для получения и накопления информации о рассеивании сроков службы и выяснении причин потери работоспособности элементов НКИ целесообразно применять разрушающий контроль элементов НКИ выведенных из эксплуатации.

Разрушающий контроль - это совокупность методов измерения и контроля показателей качества изделия, по завершении которого нарушается пригодность объекта контроля к использованию по назначению. Данный метод позволяет непосредственно определить контролируемые параметры или характеристики (например, предел прочности или толщину покрытия).

Полученная при помощи разрушающего контроля информация может использоваться для уточнения технического ресурса и вероятности отказа элемента НКИ, что также позволит оптимизировать выбор варианта стратегии ремонтных работ для элементов/групп элементов НКИ того же типа.

Использование ранжированных по критичности и вероятности отказов сетевых моделей для выбора оптимальных вариантов стратегий ремонтных работ, применение МНК при мониторинге состояния объектов НКИ, а также применение разрушающего контроля для получения и накопления информации о рассеивании сроков службы и выяснении причин потери работоспособности элементов НКИ позволяют повысить эффективность системы неразрушающего контроля объектов наземной космической инфраструктуры.

## Литература

1. Проников А.С. Параметрическая надежность машин.- М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2002. 560 с.
2. Ефремов А.С., Зеленцов В.А., Миронов А.Н., Холоименко К.А. Критерии предельного состояния координатных АТС // Вестник связи. 2004. № 2. С. 71–76.
3. Афанасьев В.Г., Зеленцов В.А., Миронов А.Н. Методы анализа надежности и критичности отказов сложных систем / МО. СПб., 1992. 99 с.
4. Гневко А.И., Казакова Н.А.. Основы технического диагностирования объектов военной техники. М.:РВСН, 1999. 251 с.
5. Гусенков А.П., Нахпетян Е.Г. Методы и средства обеспечения надежности машин. Прочность, долговечность диагностика. М.: Наука, 1993. 238 с.

---

## METHODS OF IMPROVEMENT OF GROUND SPACE INFRASTRUCTURE FACILITIES NONDESTRUCTIVE INSPECTION SYSTEM EFFICIENCY USING RANKING NETWORK MODELS

**Erofeev Mikhail Yuryevich,**  
Korolev, Russia, trasimatza@mail.ru

**Abstract.** Paper considers based on the optimization of the controlled components set possible methods of nondestructive inspection system efficiency improvement. Paper shows the possibilities of using network models ranked by failures criticalness and probabilities for choosing optimal repair operations strategy options, applying methods of nondestructive inspection for the ground space infrastructure facilities condition monitoring, as well as using destructive inspection for service life dispersion data acquisition and collection and tracing the causes of ground space infrastructure components operability loss.

**Keywords:** ground space infrastructure, nondestructive and destructive inspection, service life, nondestructive inspection system, technical condition.

### References

1. Pronikov A.S. Parametrical reliability of machinery. Moscow: Bauman Moscow State Technical University Press. 2002. 560 p. (In Russian).
2. Yefremov A.S., Zelentsov V.A., Mironov A.N., Kholoimenko K.A. Criteria of limit tolerance state of the cross-bar automatic telephone systems. Vestnik Sviazy. 2004. No. 2. Pp. 71–76. (In Russian).
3. Afanasev V.G., Zelentsov V.A., Mironov A.N. Methods of complicated systems reliability and failures criticalness analysis. Moscow — St. Petersburg: 1992. 99 p.
4. Basics of weapons and military equipment diagnosis. Moscow: RVSН. 1999. 251 p. (In Russian).
5. Gusenkov A.P., Nakhapetyan E.G. Methods and reliability engineering of machinery. Hardness, durability, diagnostics. Moscow: Nauka. 1993. 238 p. (In Russian).

**Information about author:** Erofeev M.Yu., head scientist in A.A.Maksimov Space Systems Research Institute – branch of FSUE Khrunichев State Research and Production Space Center, A.A. Maksimov Space Systems Research Institute.