

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТНОГО РАСЧЁТА НАДЁЖНОСТИ АСУ ДЛЯ ОПОРНО-ПОВОРОТНОГО УСТРОЙСТВА**

Репин Д. А., Астапов В. Н.

Самарский государственный технический университет  
Самара, Россия (443100, Самара ул. Молодогвардейская, 244),  
e-mail: repin.d@inbox.ru, asta-2009@mail.ru

### **Аннотация**

В современных условиях стремительного технологического прогресса автоматизированные системы управления (АСУ) становятся неотъемлемой частью многих отраслей - от телекоммуникаций до оборонной промышленности. В данной области особое внимание уделяется опорно-поворотным устройствам (ОПУ), представляющими собой ключевые элементы, отвечающие за точное позиционирование антенн, камер и других систем.

ОПУ обеспечивает возможность изменения угла наклона и направления объекта с высокой степенью точности, что критично для поддержания стабильности связи и получения данных. Однако, с увеличением сложности и функциональности таких систем повышаются и требования к их надежности, что делает необходимыми системные и всесторонние подходы к проектированию. Для обеспечения надежности требуется не только проработка аппаратной части системы, но и тщательная разработка программного обеспечения, способствующего оценке надёжности и выявлению потенциальных рисков на этапе проектирования.

Для понимания сущности расчёта надёжности АСУ для ОПУ, в данной работе проанализированы основные показатели, используемые для проектирования надежных систем, охарактеризованы их сильные и слабые стороны, рассмотрены практические примеры внедрения таких средств. Понимание этих вопросов позволит выявить ключевые тенденции и перспективы в сфере проектирования АСУ, что, безусловно, будет способствовать дальнейшему развитию технологий управления и надежности в различных отраслях.

### **Ключевые слова:**

Автоматизация, АСУ ТП, ОПУ, антенна, резервирование, автоматизированное управление, поворот, угол наклона.

## **AUTOMATION OF DESIGN CALCULATION OF THE RELIABILITY OF THE ACS FOR THE ROTARY SUPPORT DEVICE**

Repin D. A., Astapov V. N.  
Samara State Technical University  
Samara, Russia (443100, Samara st. Molodogvardeyskaya, 244),  
e-mail: repin.d@inbox.ru, asta-2009@mail.ru

### **Annotation**

In today's rapidly advancing technological environment, automated control systems (ACS) are becoming an integral part of many industries, from telecommunications to defense. In this area, special attention is paid to rotary support devices (RPD), which are key elements responsible for precise positioning of antennas, cameras, and other systems.

The RPD provides the ability to change the angle of inclination and direction of an object with a high degree of accuracy, which is critical for maintaining communication stability and data acquisition. However, with the increase in the complexity and functionality of such systems, the requirements for their reliability also increase, which makes systemic and comprehensive approaches to design necessary. Ensuring reliability requires not only the development of the system hardware, but also careful development of software that helps assess reliability and identify potential risks at the design stage.

To understand how the calculation of the reliability of the ACS for the RPD functions, this article analyzed the main indicators used to design reliable systems, discussed their strengths and weaknesses, and considered practical examples of the implementation of such tools. Understanding these issues will help identify key trends and prospects in the field of ACS design, which will certainly contribute to the further development of control and reliability technologies in various industries.

### **Key words:**

Automation, ACS, RPD, control unit, antenna, redundancy, automated control, rotation, tilt angle.

### **Введение.**

В современных условиях стремительного технологического прогресса автоматизированные системы управления (далее - АСУ) становятся неотъемлемой частью многих отраслей, от телекоммуникаций до оборонной промышленности. В данной области особое внимание уделяется опорно-поворотным устройствам (далее - ОПУ), которые представляют собой ключевые элементы, отвечающие за точное позиционирование антенн, камер и других систем. ОПУ обеспечивает возможность изменения угла наклона и направления объекта с высокой степенью точности, что критично для поддержания

стабильности связи и получения данных. Однако, с увеличением сложности и функциональности таких систем повышаются и требования к их надежности, что делает необходимыми системные и всесторонние подходы к проектированию.

### **Основные положения АСУ для ОПУ.**

АСУ представляют собой комплекс аппаратных и программных средств, предназначенных для управления различными процессами. Основные определения и понимание этих элементов необходимы для разработки и проектирования надёжной АСУ, обеспечивающей точное и безопасное управление опорно-поворотным устройством антенны.

ОПУ - механическая система, предназначенная для обеспечения вращательного движения и позиционирования различных объектов, таких как антенны, камеры, лазеры и другие устройства. ОПУ позволяет изменять угол наклона и направление объекта в пространстве. Структурные элементы ОПУ представлены на рис. 1.



Рисунок 1 – Структурные элементы ОПУ

ОПУ обеспечивает точное положение антенны или другого объекта в заданных координатах. Позволяет следить за движущимися объектами, например спутниками или авиационной техникой. Компенсирует влияние внешних факторов, таких как ветер или вибрации, для поддержания заданного направления [1].

ОПУ с фиксированным основанием – это ОПУ, установленное на неподвижной платформе, используется для неподвижных объектов, например, стационарные антенные системы (рис. 2). Устанавливается на транспортных средствах, позволяя антеннам внутри вращаться и изменять направление, сохраняется при движении. К ним относят: телевизионные антенны (обеспечивают точное направление на спутники), радиолокационные станции (трекинг и контроль воздушного пространства), камеры наблюдения (для круглосуточного

наблюдения и охраны), системы связи (обеспечивают постоянное соединение, изменяя угол антенны в зависимости от местоположения передатчиков).



Рисунок 2 – Опорно-поворотное устройство

Параметры надёжности ОПУ – это среднее время безотказной работы, долговечность и возможность обслуживания. Современные ОПУ часто проектируются с учетом условий эксплуатации и потенциальных рисков для обеспечения надёжности.

АСУ - совокупность аппаратных и программных средств, которые обеспечивают автоматизированное управление, мониторинг, регулирование и защиту процессов ( рис.3). В контексте ОПУ АСУ отвечает за позиционирование антенны, обнаружение и обработку данных о её ориентации [2].

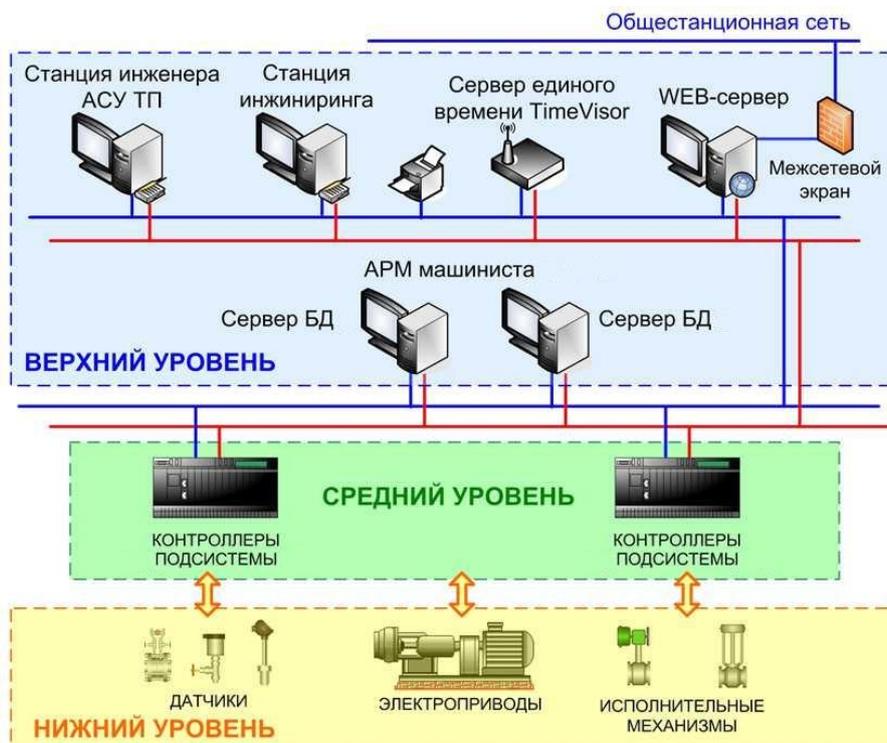


Рисунок 3 - Автоматизированная система управления

Элементы АСУ:

- Датчики, измеряющие конкретные параметры, поступающие в систему управления (угол поворота, скорость и положение антенны);
- Исполнительные механизмы, выполняющие команды управления (изменение положения антенны и др.);
- Контроллер: центральный элемент, принимающий данные от датчиков и отправляющий команды на исполнительные механизмы (наиболее часто программируемый логический контроллер или микроконтроллер).

### **Классификация отказов АСУ для ОПУ.**

Это важная часть проектного расчета надежности. Понимание типов и причин отказов позволяет разработать эффективные меры по снижению рисков и повышению надежности систем. Классификация отказов, основанная на различных критериях:

1. Явные (или полные) отказы представляют собой ситуации, когда АСУ или ее компоненты полностью теряют функциональность и не могут выполнять свои назначенные задачи. Это крайне критические ситуации, приводящие к полной деградации системы и имеющие серьезные последствия для эксплуатации ОПУ антенн.

Явные отказы зачастую характеризуются мгновенным прекращением работы системы или ее отдельных компонентов. В отличие от скрытых отказов, при явных отказах пользователи системы сразу осознают, что функционирование системы нарушено. Проявление таковых: полное прекращение движения или управления ОПУ, отсутствие реакции на команды управления, отказ в связи (например, потеря сигнала от антенны).

Износ или разрушение зубьев редуктора приводят к блокировке механической части. Могут быть ошибки при монтаже, вызывающие нагрузку на компоненты и их быстрое разрушение.

Поломка или авария электродвигателя делают невозможным движение ОПУ. Короткое замыкание в электрической системе приводит к выходу из строя управляющей электроники.

Ошибки в программном обеспечении, обнуляющие или блокирующие систему управления. Некорректные данные от сенсоров могут привести к автоматическому отключению системы для предотвращения аварии.

Примеры явных отказов АСУ для ОПУ:

- ОПУ не вращается, когда контроллер получает команду, вызванный поломкой мотора или редуктора;
- сигнал от антенны не передается в контроллер, что может быть вызвано отказом передающей схемы;

- ОПУ останавливается из-за фатальной ошибки в программном обеспечении, такой как сбой в алгоритме, который отвечает за позиционирование.

Полное завершение работы ОПУ приводит к невозможности выполнения задач, для которых эта система предназначалась. Отказ АСУ для ОПУ может вызвать сбои в других взаимосвязанных системах (например, системы передачи данных).

Явные отказы ведут к необходимости оперативного ремонта, что влечёт дополнительные затраты. Время простоя системы может привести к значительным прямым и косвенным потерям [3].

Чтобы предотвратить явные отказы конструкторам необходимо повышать надёжность системы путём регулярного мониторинга и профилактики износа компонентов, включать резервные системы для критически важных компонентов, таких как двигатели и управляющие блоки, чтобы минимизировать влияния отказов. А также проводить регулярное обновление программного обеспечения для устранения потенциальных ошибок и повышения функциональности системы.

2. Скрытые отказы могут проявляться в виде незначительных отклонений от нормального функционирования, которые не вызывают немедленной реакции со стороны пользователя. Проявление таковых: пониженная точность позиционирования ОПУ; непостоянство в работе датчиков, показывающих изменения в состоянии системы; увеличение времени реакции системы на команды управления.

Постепенное ухудшение качества материалов (подшипников, шестерен) приводит к их несоответствию требованиям. Например, микроскопические дефекты, возникающие в процессе эксплуатации, которые со временем могут привести к поломке.

Коррозия или неплотное соединение проводов может усугубить передачу сигналов, вызывая сбои в работе или постепенное ухудшение состояния компонентов управляющей электроники, например перегрев или старение конденсаторов.

Неочевидные ошибки обычно находятся в алгоритмах управления или обработки данных, приводящие к непредсказуемым результатам. Неэффективная обработка данных от сенсоров может вызвать скрытые отказы в управлении.

Примеры скрытых отказов АСУ для ОПУ:

- ОПУ антенны может сохранять возможность работы, но не будет точно наводиться на заданные координаты;

- датчики могут периодически выдавать неправильные сигналы, но не полностью выходят из строя;

- увеличение времени отклика ОПУ на команды, что может быть вызвано накоплением ошибок в системах управления.

Незначительные проблемы в работе системы могут создавать значительные затраты времени и ресурсов в долгосрочной перспективе. Скрытые отказы могут привести к накоплению проблем и в итоге к явным отказам системы.

Скрытые проблемы могут быть обнаружены только во время ремонта, что приведет к неожиданным расходам. Низкое качество работы системы может вызвать недовольство пользователей и потерю доверия.

Для предотвращения скрытых отказов используют системы диагностики и мониторинга для обнаружения аномалий в работе оборудования. Осуществляются регулярные проверки и замены компонентов, профилактика износа во избежание накопления скрытых проблем. Внедряют тестирование и регулярные обновления ПО для минимизации рисков логических ошибок [4].

### **Резервирование АСУ.**

Резервирование АСУ — это комплексный подход к проектированию, организационному и техническому обеспечению, направленный на повышение стойкости и надёжности работы системы в условиях возникновения отказов одного или нескольких её компонентов. Резервирование подразумевает наличие дублирующих или запасных элементов и механизмов, которые могут автоматически или вручную включаться в работу при возникновении неисправностей, обеспечивая тем самым непрерывность функционирования системы и минимизируя время простоя [5].

Составление и расчёт резервирования АСУ для частей поворотного механизма ОПУ антенны — важная задача, направленная на повышение надёжности системы при различных эксплуатационных условиях. Логика процесса создания резервирования описана ниже.

Для начала определим ключевые элементы поворотного механизма: электродвигатели (например, шаговые, серводвигатели), передаточные механизмы (редукторы), датчики положения (инкрементальные или абсолютные), управляющие контроллеры, элементы питания (аккумуляторы, источники питания).

Далее происходит создание блок-схемы, показывающую взаимосвязи между компонентами для определения перечня элементов критичных для работы системы. Выполняется анализ видов и последствий отказов (FMEA) для каждого компонента в целях определения видов возможных отказов (выход из строя двигателя, неисправность датчика и пр.). Для каждого отказа оцениваются последствия для системы (уровень критичности), включая вероятные риски для функционирования ОПУ антенны.

На следующем этапе происходит выбор типа резервирования, требующийся в зависимости от критичности данных компонентов. Создаются дублирующие компоненты. Например, используются два двигателя, подключенных к одному контроллеру (конфигурация

1+1). Используются альтернативные алгоритмы, активирующие резервные компоненты при отказе.

Далее определяется количество необходимых дублирующих компонентов: «2 из 2»: для достижения полной избыточности; «2 из 3»: для обеспечения работоспособности, даже если один основной компонент выйдет из строя; «N из M»: например, три двигателя из пяти, чтобы гарантировать работу системы, если только два из них требуют обслуживания.

Используя параметры надёжности для основных компонентов, рассчитывается среднее время наработки на отказ (MTBF) для каждого компонента системы по формуле:

$$MTBF = \frac{T}{N_f}, \quad (1)$$

где:  $T$  — общее время наблюдения;  $N_f$  — количество отказов.

Следует использовать расчет общей вероятности надёжной работы системы с резервированием. Например:

- для конфигурации «2 из 2»:  $P_{резерв} = P_1 \cdot P_2$  (где  $P_1$  и  $P_2$  — вероятность работоспособности одного из двух параллельных компонентов);

- для конфигурации «2 из 3»:  $P_{резерв} = P_1 \cdot P_2 + P_1 \cdot (1 - P_2) \cdot P_3 + P_2 \cdot (1 - P_1) \cdot P_3 + (1 - P_1) \cdot (1 - P_2) \cdot P_3$  (где  $P_1, P_2, P_3$  — вероятности работоспособности каждого из трёх компонентов).

При необходимости рассчитывается среднее время, необходимое для автоматического переключения на резервный компонент (MTTR):

$$MTTR = \frac{\text{время восстановления}}{N_{\text{восстановления}}}, \quad (2)$$

где  $N_{\text{восстановления}}$  — количество восстановлений.

Следует учитывать расходы на дополнительные компоненты, их установку, а также обслуживание системы. Оценивать ожидаемую выгоду от повышения надёжности по сравнению с затратами на создание резервной системы. Расчёт может включать нижнюю границу величины финансовых потерь, возникающих при отказе (финансовые потери от простоя системы), и сопоставление этих данных с затратами на резервирование. Если принимается решение о внедрении резервирования, разрабатывается план по его реализации [6].

Программные средства для расчёта надёжности АСУ позволяют не только оценить текущие характеристики системы, но и выполнить детализированный анализ потенциальных отказов на этапах проектирования. Методы (анализ видов и последствий отказов и др.) позволяют инженерам и проектировщикам более точно предсказывать поведение системы в условиях эксплуатации, выявлять слабые места и принимать меры для их укрепления на ранних стадиях разработки. Кроме того, при использовании специализированных

программных инструментов, таких как RELIABILITY, RCM, а также средств для моделирования и анализа надежности, удаётся значительно сократить сроки проектирования и повысить качество конечного продукта.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анисимов А.А., Петричкович Я.Я., Иванченко С.Т., Соколов Е.Г., Юрченко Д.Б. ОПОРНО-ПОВОРОТНОЕ УСТРОЙСТВО. Патент на изобретение RU 2601824 С1, 10.11.2020. [Электронный ресурс]. – URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_37411472\\_85082986.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_37411472_85082986.pdf) (Дата обращения: 07.09.24).

2. Легков К.Е., Скоробогатова О.А. Основные направления развития автоматизированных систем управления специального назначения и требования, предъявляемые к ним системой управления. Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2013. Т. 5. № 1. С. 40-45. [Электронный ресурс]. – URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_22880022\\_85633675.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_22880022_85633675.pdf) (Дата обращения: 14.09.24).

3. Гришаков В.Г., Логинов И.В., Христенко Д.В. Управление модернизацией асу предприятием на основе информационной поддержки ее жизненного цикла. Информационно-управляющие системы. 2012. № 3 (58). С. 84-90. [Электронный ресурс]. – URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_17745205\\_39485604.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_17745205_39485604.pdf) (Дата обращения: 23.09.24).

4. Девяткин Е.Е., Плоский А.Ю., Гасс Я.М. Методики расчета коэффициента готовности сетей наземного цифрового телевидения. Труды Научно-исследовательского института радио. 2011. № 1. С. 45-54. [Электронный ресурс]. – URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_16335669\\_60659005.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_16335669_60659005.pdf) (Дата обращения: 06.10.24).

5. Погудин А.Л., Зыкин С.А., Баранов С.С. Разработка методики контроля защиты и резервирования информационного и программного обеспечения АСУ ТП. В сборнике: Автоматизированные системы управления и информационные технологии. Материалы всероссийской научно-технической конференции. В 2-х томах. 2018. С. 276-281. [Электронный ресурс]. – URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_36859028\\_94757821.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_36859028_94757821.pdf) (Дата обращения: 19.10.24).

6. Деткова А.В. Диагностика и надежность автоматизированных систем и интеллектуальных систем управления. Учебно-методическое пособие для проведения практических и лабораторных работ / Тирасполь, 2024. [Электронный ресурс]. — URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_59821749\\_32858102.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_59821749_32858102.pdf) (Дата обращения: 11.10.2024).