

По элементам кватерниона  $Q$  восстанавливаются углы рыскания, тангажа и крена. Кинематические уравнения (3) линейные, имеют четвертый порядок и определены для любых значений углов ориентации, что делает их наиболее часто используемых в алгоритмах БИНС.

**Вектор Эйлера.** Понятие вектора Эйлера связано с одноименной теоремой, согласно которой произвольное вращение твердого тела вокруг неподвижной точки можно осуществить одним поворотом вокруг соответствующим образом избранной оси вращения, проходящей через эту точку. Вектор Эйлера  $\phi$  направлен по оси конечного поворота, а его проекции на оси связанной системы координат определяются через направляющие косинусы оси конечного поворота.

Кинематическое уравнение для вектора Эйлера приближенно имеет вид [4]

$$\dot{\phi} \approx \omega + \frac{1}{2} \phi \times \omega + \frac{1}{12} \phi \times (\phi \times \omega), \quad (4)$$

где  $\omega$  – вектор угловой скорости подвижного объекта.

Использование вектора Эйлера вместо направляющих косинусов и кватернионов приводит к уменьшению объема вычислений, поскольку вы-

числяется не девять элементов матрицы направляющих косинусов и не четыре параметра Родрига-Гамильтона, а всего три проекции вектора ориентации на измерительные оси. К тому же отпадает необходимость в нормировке составляющих вектора Эйлера в отличие от направляющих косинусов и параметров Родрига-Гамильтона.

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания по теме «Развитие теории инерциальных датчиков первичной информации для навигационных систем высокоточных летательных аппаратов (FEWG-2022-0002)».

#### Литература

1. Магнус, К. Гироскоп. Теория и применения / К. Магнус. – М.: Мир, 1974. – 516 с.
2. Бранец, В. Н. Применение кватернионов в задачах ориентации твердого тела / В. Н. Бранец, И. П. Шмыглевский. – М.: Наука, 1973. – 320 с.
3. Ишлинский, А. Ю. Ориентация, гироскопы и инерциальная навигация / А. Ю. Ишлинский. – М.: Наука, 1976. – 672 с.
4. Bortz, J. E. A New Mathematical Formulation for Strapdown Inertial Navigation / J. E. Bortz // IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine. – 1971. – Vol AES-7, No. 1. – P. 61–66.

УДК 681.5.09

## МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Мацук А.С., Савкова Е.Н.

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Представлена концепция применения технологий оценки рисков и управления реестром риска на проектируемых и существующих системах автоматизации направленной на повышения надежности систем автоматизации энергетического оборудования.

**Ключевые слова:** надежность, оценка рисков, система автоматизации, реестр рисков.

## METHODS OF INCREASING THE RELIABILITY OF AUTOMATION SYSTEMS OF POWER EQUIPMENT

Matsuk A., Saukova Y.

*Belarusian National Technical University  
Minsk, Republic of Belarus*

**Abstract.** The concept of applying risk assessment technologies and risk register management on designed and existing automation systems aimed at improving the reliability of automation systems of power equipment is presented.

**Keywords:** reliability, risk assessment, automation system, risk register.

*Address for correspondence: Matsuk A., lilia karastonova st.17, Minsk 2200689, Republic of Belarus;*

*Saukova Y., Nezavisimosty av. 65, Minsk 220113, Republic of Belarus*

*e-mail: 375336759859@yandex.by; savkova@bntu.by*

Системы автоматизации энергетических предприятий направлены на обеспечение эффективного выполнения рабочих процессов и их безопасности. К основным видам таких систем относятся релейная защита, противоаварийная

автоматика, автоматизированные системы производства и передачи тепловой и электрической энергии, системы контроля и учета электроэнергии и передача данных с приборов учета тепловой энергии. Несмотря на многообразие выполняе-

мых функций, данные системы состоят из однотипных простейших узлов, которые подразделяются на воспринимающие, преобразующие, исполнительные, задающие и корректирующие органы, элементы сложения и вычитания сигналов [1, 2]. Неисправности в системах автоматики сводятся к ограниченному числу элементарных событий [4]:

- обрывы цепей в кабеле, проводе, в местах присоединения и внутри аппарата или прибора;
- короткое замыкание между разными цепями одного напряжения, цепями разных полюсов в системе одного напряжения и полюсов разных систем напряжений, токоведущими частями и корпусом или па землю, сигнальными или рабочими контактами реле и аппаратом (ложные замыкания);
- нарушение функции контактов;
- неисправность электрических элементов: резисторов; конденсаторов; полупроводниковых приборов (диод, триод); катушек реле аппаратов; сигнальных ламп и арматуры; вспомогательных электродвигателей, предназначенных для управления или регулирования; измерительных приборов;
- неисправность механической части аппаратуры, установленной в рабочих помещениях, аппаратуры, смонтированной на пульте управления, аппаратуры, установленной в распределительных пультах.

В некоторых случаях при отказе элемента системы автоматики возможно изменение состояния объекта на неработоспособное, нерабочее, предельное или опасное. Таким образом, создание базы знаний опасных событий и их потенциальных причин позволит повысить надежность и снизить риски, возникающие в процессе функционирования систем автоматики.

Научно-методическое обеспечение управления рисками в системах автоматики энергетического предприятия, включающее:

- систематизацию и классификацию систем автоматики, принципов их построения, основных элементов технического и программного обеспечения и требований к ним на всех этапах жизненного цикла;
- спецификации рисков, оптимизацию выбора технологий управления рисками в пространственно-временном континууме на основе вероятностно-статистических моделей;
- определение факторов внутренней и внешней среды и уровней процессов системы;
- кодификацию опасностей с оценкой возможных последствий и ущерба;
- разработку реестра риска и компьютерной программы-анализатора, позволит повысить надежность, эффективность и результативность энергетических процессов на 15–20 %.

К основным направлениям работ по повышению надежности систем автоматики можно

отнести следующие группы мероприятий по повышению надежности при их проектировании [3]:

- системные;
- структурные (схемные);
- конструктивные;
- эксплуатационные.

К системным методам относятся организационно-экономические мероприятия по стимулированию повышения надежности и ряд технических мероприятий.

Одним из путей стимулирования повышения надежности является включение в стоимость затрат на гарантийные ремонт и обслуживание. При этом разработчик учитывает, что при повышении надежности уменьшаются затраты на гарантийный ремонт и обслуживание, т.е. прибыль становится наибольшей при определенном значении показателя надежности, превышающем максимальна допустимый уровень. В этом случае разработчики и изготовители стремятся узнать этот уровень и достигнуть его. Следовательно, стимулируются точные оценки надежности и ее повышение. Другим путем стимулирования повышения надежности является планирование расходов на весь срок службы проектируемой системы. Технические мероприятия по оформлению показателей надежности проектируемых систем необходимы при любой системе взаимоотношений заказчика и разработчика. К техническим мероприятиям относится учет внешних воздействий на проектируемые технические средства:

- рабочие (тяжелый ударно-вибрационный режим, температурный режим, агрессивная химическая среда, ядерная реакция);
- климатические (температура, влажность, примеси в воздухе);
- биологические (грибок или плесень, насекомые, грызуны).

Структурные (схемные) методы объединяют мероприятия по повышению надежности систем путем совершенствования принципов их построения. Эти методы отличаются большим разнообразием и интенсивно развиваются. К ним относятся, например, варианты построения технических систем, нечувствительных к появлению отказов, за счет введения избыточных аппаратурных и программных средств. При этом могут использоваться и аппаратные (например, резервированные) и программные (например, сравнение результатов избыточных вычислений) средства. В ряде случаев также могут применяться и аппаратно-программные средства обнаружения отказов элементов и восстановления системы.

К конструктивным методам относятся мероприятия по созданию или подбору элементов, узлов или блоков системы, созданию благоприятных режимов работы, принятию мер по облегчению ремонтов и т.д. Время устранения отказа

можно существенно уменьшить путем построения системы по блочно-узловому способу. При этом все системы разбиваются на отдельные функционально законченные блоки, которые в электронных системах соединяются между собой кабелями, а в механических – связываются кинематически. Блоки в свою очередь разбиваются на функционально законченные узлы, выполняемые в виде легкоъемных конструкций. При таком построении восстановление состоит в замене вышедших из строя блоков или узлов, что значительно ускоряет процесс ввода системы в строй. Осуществление блочно-узловых конструкций тесно связано с унификацией элементов и систем, которая производится на основе отбора наиболее надежных вариантов. При этом не только повышается надежность технических систем, но и снижается их стоимость, и упрощается изготовление. В ряде случаев удастся создать очень сложные системы из элементов всего двух-трех типов [3].

На стадии проектирования технических систем необходима разработка системы эксплуатационного обеспечения. Проектирование технических систем при этом должно осуществляться в

соответствии с номенклатурой работ по техническому обслуживанию. Например, для планирования периодического регулирования определяющих параметров системы необходимо предусмотреть возможность контроля и прогнозирования значений этих параметров и т.д. Структурные (схемные) и конструктивные методы повышения надежности безусловно являются основными для обеспечения соответствующего уровня надежности разрабатываемых технических систем.

#### Литература

1. Боровиков, С. М. Расчет показателей надежности радиоэлектронных средств / С. М. Боровиков, И. Н. Цырельчук, Ф. Д. Троян ; под ред. С. М. Боровикова. – Минск: БГУИР, 2010. – 68 с.
2. Базовые элементы автоматики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electricalschool.info>. – Дата доступа: 20.08.2022.
3. Надежность технических систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net>. – Дата доступа: 18.08.2022.
4. Дефекты основных типовых средств автоматизации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.arhivinfo.ru>. – Дата доступа: 20.08.2022.

УДК 681.3

### ПРОФИЛЬ ЗАЩИТЫ БОРТОВОГО ШЛЮЗА ГРАЖДАНСКОГО ВОЗДУШНОГО СУДНА Медведев Н.В.

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
Москва, Российская Федерация*

**Аннотация.** Предлагаются принципы построения защищенного комплекса управления гражданского воздушного судна, основанные на трех информационных доменах и открытой сетевой структуре.

**Ключевые слова:** гражданское воздушное судно, информационный домен, защищенный сервер, единая информационно-вычислительная платформа, комплекс.

### SECURITY PROFILE OF A CIVIL AIRCRAFT AIRLOCK Medvedev N.

*Bauman State Technical University  
Moscow, Russian Federation*

**Abstract.** The principles of building a secure civil aircraft control complex based on three information domains and an open network structure are proposed.

**Key words:** civil aircraft, information domain, secure server, unified information and computing platform, complex.

*Адрес для переписки: Медведев Н.В., ул. Вторая Бауманская, 5, Москва 105005, Российская Федерация  
e-mail: medvedevnick54@yandex.ru*

Бортовой защищенный шлюз (БЗШ) гражданского воздушного судна (ГВС), представляет собой программно-техническое средство, реализующее функции контроля и фильтрации в соответствии с заданными правилами проходящих через него информационных потоков и используемое в целях обеспечения защиты, в том числе и криптографическими методами, информации ограниченного доступа.

БЗШ должен обеспечивать нейтрализацию следующих угроз безопасности информации (УБИ):

– несанкционированный доступ к информации, передаваемой по каналам взаимодействия бортового оборудования и наземных служб (табл. 1);

– отказ в обслуживании бортовых и наземных средств связи, навигации, наблюдения и наведения; бортовых информационно-вычислительных сетей ГВС; бортовых беспроводных и сенсорно-актуаторных сетей ГВС (табл. 1); информационно-вычислительной системы и системы управления ГВС;

– несанкционированная передача информации из информационно-вычислительной системы и