

# РЕЗЕРВНЫЕ СТРУЙНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ

Балабанов А. В.<sup>1</sup>, Касимов А. М.<sup>2</sup>, Попов А. И.<sup>3</sup>

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,

Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д.65

fca07@mail.ru<sup>1</sup>, kasimov@ipu.ru<sup>2</sup>, daten@ipu.ru<sup>3</sup>

*Аннотация:* Обеспечение безопасности критических объектов в условиях развивающихся новых методов и средств внешних дестабилизирующих воздействий является весьма важно современной проблемой теории и практики систем управления. В этой связи, в статье предложены принципы построения резервных систем управления на основе неэлектрической (струйной) элементной базы, что обеспечивает возможность непрерывного управления при отказе основных (электронных) систем управления объектов повышенной опасности и, таким образом, исключения катастрофических последствий отказов.

Ключевые слова: критический объект, струйная техника, электромагнитное воздействие, отказы.

## Введение

С появлением новых развитых высокотехнологических объектов растет сложность их систем управления (СУ), среди которых выделяются СУ критическими объектами или объектами повышенной опасности, выход из строя которых может привести к катастрофическим результатам. Проблемой является обеспечение их безопасности в условиях развивающихся новых методов и средств внешних дестабилизирующих воздействий, например, направленное излучение различной электромагнитной природы. К ним относятся ядерные взрывы, представляющие реальную угрозу для электронных СУ, к которым относятся бортовые СУ летательных аппаратов различного назначения, а также такие объекты как, морские лайнеры, наземный транспорт, АЭС и др.

В последнее время быстро развиваются новые виды электромагнитного оружия, которые могут создавать электрические импульсы в миллионы ампер, электромагнитные поля мощностью в гигаватты [1, 2, 3]. Опасность сверхмощных, практически мгновенных, сигналов в том, что они имеют резкий фронт, который настолько быстро проходит через электронику, что система не успевает защититься.

На рисунке 1 приведены виды электромагнитных воздействий на радиоэлектронную аппаратуру с возможными их отказами.

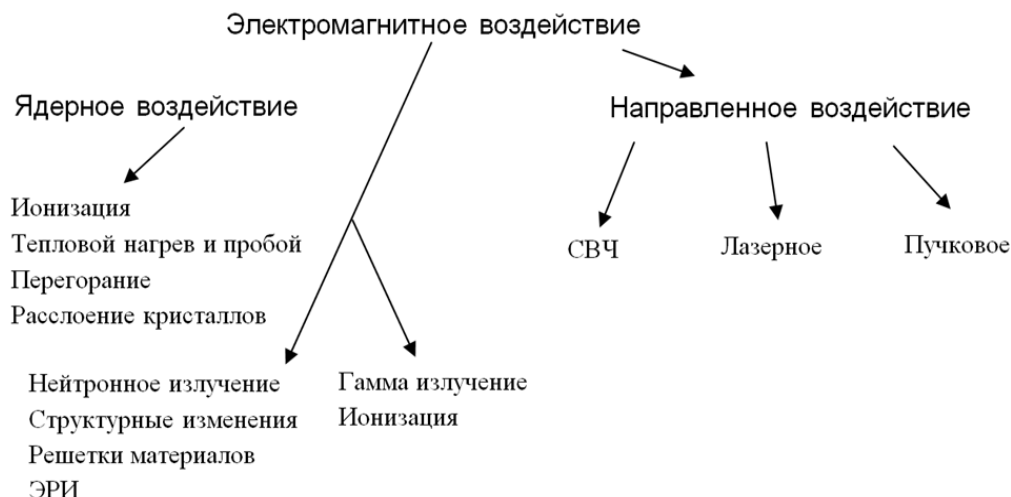


Рис. 2. Виды электромагнитных воздействия на радиоэлектронную аппаратуру

Например, микроволновое СВЧ-оружие вызывает наводки токов и потенциалов, тепловой нагрев, которые вызывают ложные амплитуды равные амплитудам информационных сигналов, вызывающих сбои или полный отказ электронных компонентов СУ.

Поскольку современные СУ критических объектов, как правило, являются электронными, то они поражаются в первую очередь с последующими большими экономическими и гуманитарными потерями.

Анализ существующих методов и способов обеспечения стойкости традиционных электронных каналов управления, показал невозможность реализации принципа непрерывности управления и

обеспечения их инвариантности к действию всего спектра указанных дестабилизирующих факторов и способам их применения [4].

Необходимость альтернативных электронике технических средств с другим носителем энергии информационных сигналов, способных сохранять работоспособность в условиях внешних дестабилизирующих воздействий электромагнитной природы, является чрезвычайно актуальным.

Анализ путей построения СУ, инвариантных к действию ДВ, показал, что предпочтительным является комбинирование основного электронного канала управления с дополнительным резервным, построенным на элементах неэлектрической природы [5].

Одним из таких технических средств автоматики для резервных каналов является струйная техника, предназначенная для построения устройств управления высокой надежности, способных работать в экстремальных условиях окружающей среды.

Струйная техника по сравнению с электрическими средствами имеет на два порядка меньшее быстродействие, ограничиваемое критическими скоростями рабочего газа (скоростью звука). Но в некоторых случаях может успешно выполнять функции преобразования информации для управления технологическими процессами, которые традиционно выполнялись электронными СУ.

Так, для защиты СУ от критических электромагнитных ДФ была разработана аналоговая струйная СУ продольным движением самолета [6], а также регуляторы параметров авиационных газотурбинных двигателей, которые успешно эксплуатируются в двигателях самолетов Як-42, Ан-77, «РУСЛАН», «МРИЯ», ИЛ-86, ИЛ-96, Ту-204, вертолетах Ми-26 и др.

Также созданы струйные СУ панелями воздухозаборника сверхзвукового самолета, СУ перепуском воздуха, СУ входным направляющим аппаратом компрессора двигателя, регулятор и ограничитель частоты вращения турбины, система антипомпажной защиты двигателя, СУ расходом топлива в гиперзвуковом прямоточном воздушно-реактивном двигателе [7] и др. Указанные струйные средства управления работают на воздухе от компрессора двигателя без преобразователей носителя энергии при температурах до 560°С.

Общая наработка струйных регуляторов к настоящему времени составляет более 22 млн летных часов, при показателе безотказности выше 1,1 млн. часов (для двигателя Д-36). Однако для использования струйной техники в цифровых СУ требуется высокое быстродействие. В ИПУ РАН проведены исследования по радикальному увеличению быстродействия струйной техники [8].

Установлено, что быстродействие струйных элементов повышается с уменьшением их линейных размеров и увеличением скорости истечения рабочего газа в каналах питания. Поэтому основными методами повышения быстродействия резервных СУ на струйных элементах являются: миниатюризация струйных элементов (в первую очередь, за счет уменьшения ширины канала питания струйных элементов до 100 мкм и менее); использование газов меньшей плотности, например, гелия или гелиево-водородной смеси; использование рабочих газов с большей скоростью распространения звуковых волн; совершенствование технологии изготовления струйных устройств в интегральном исполнении со степенью интеграции до 15...20 и более элементов в см<sup>3</sup>.

В настоящее время, экспериментально подтвержденное номинальное быстродействие на воздухе составляет 5-10 кГц, предельное – до 20 кГц. Основным фактором при заданном избыточном давлении питания является плотность рабочей среды независимо от того, на каком газе работают струйные элементы; плотность является наиболее важным параметром, определяющим скорость выполнения операций, расход рабочей среды и затрачиваемую мощность.

Возможность повышения быстродействия струйных элементов определяет перспективность применения струйной техники для построения резервных каналов управления критическими объектами повышенной опасности.

### **Принцип построения разнородной системы**

Из-за низкого, по сравнению с электронными компонентами, быстродействия представляется следующая концепция структуры комбинированной СУ с разнородными каналами [9].

В состав комбинированной СУ, кроме основного и резервного каналов, входит комплекс устройств их сопряжения, а также автономные устройства сопряжения с датчиками и исполнительными механизмами объекта управления.

Для построения разнородной СУ необходимо разработать структуру системы, алгоритм ее функционирования на различных режимах работы, а также обосновать требования к резервному каналу по качеству управления.

Структура разнородной СУ может быть представлена следующим образом (рис. 2). Основными элементами системы являются два канала различной природы: основной (электронный) и резервный

(струйный). Основной канал включает в себя электронный цифровой вычислительный комплекс (ЭЦВК), датчики основного канала ( $D_o$ ) и внутриканальные связи между ними. Резервный канал – вычислитель резервного канала (ВРК), датчики резервного канала ( $D_p$ ) и внутриканальные связи. В ЭЦВК и ВРК реализуются алгоритмы управления. Основной канал может использовать аппаратную и программную избыточность. Для регистрации критических уровней ДФ, вызывающих сбой или необратимые отказы электронной аппаратуры, должны использоваться специальные датчики регистрации (ДР). В состав системы должны входить устройства сопряжения (УС) между электронными и струйными элементами системы, а также устройства коммутации (УК).

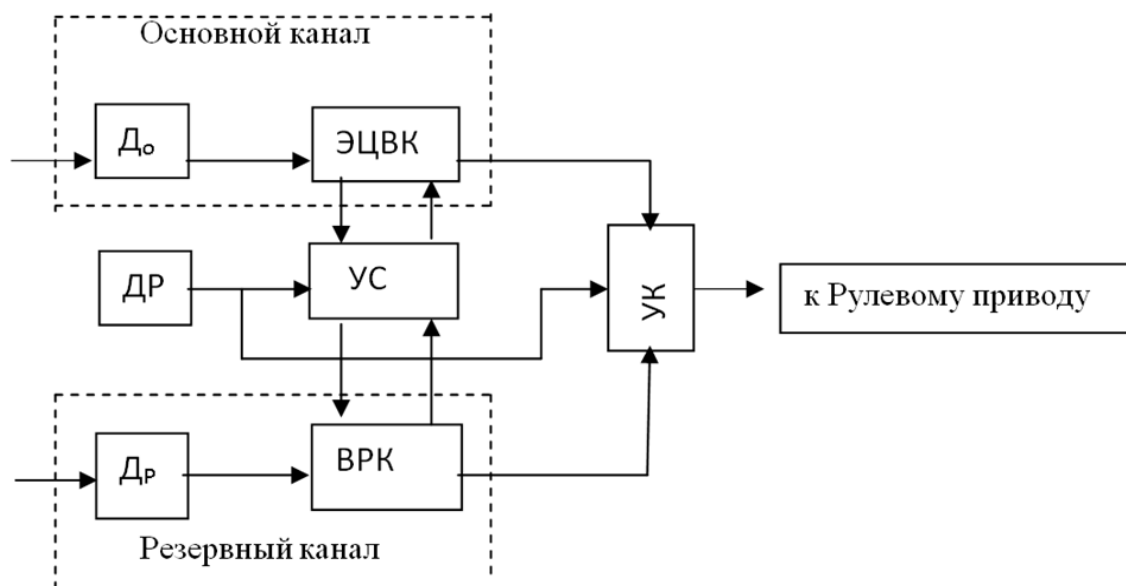


Рис. 3. Структурная схема разнородной СУ

Разнородная СУ должна функционировать в двух режимах [5]. В рабочем режиме основной канал (на электронных элементах) включен в контур управления, а резервный (на струйных элементах) – нет. При этом оба канала работают параллельно, реализуя в БЦВК и ВРК идентичные алгоритмы управления. Однако можно ожидать точность резервного канала менее допустимой, в этом случае, после окончания каждого базового цикла основной канал должен корректировать резервный. Таким образом, резервный канал на малых интервалах должен иметь точность решения алгоритмов, близкую к точности основного. В момент проявления внешних ДФ система переходит в аварийный режим – на резервный канал управления. По окончании действия внешних ДФ осуществляется проверка работоспособности БЦВК и датчиков с использованием информации резервного канала, при положительном результате в контур управления включается основной канал.

Реализация описанной структуры, обеспечивающую практически абсолютную живучесть, возможна только при достижении необходимого быстродействия струйных элементов.

Резервный канал на струйных элементах должен обеспечивать устойчивость, заданные статические и динамические характеристики управляемости на всех режимах полета при действии внешних ДФ и при отказе элементов основного канала в результате собственных неисправностей. При построении резервного канала могут использоваться как аналоговые, так и цифровые элементы струйной техники. Необходимо учитывать их реальные возможности. Аналоговые элементы отличаются малыми массой и габаритами, высоким быстродействием, но меньшей точностью. При использовании цифровых струйных элементов с более высокой точностью обработки сигналов необходимо учитывать их реальное быстродействие. Вполне обосновано возникает вопрос о возможности выполнения резервным каналом заданных требований с другим качеством. В военной авиации приняты три приемлемых, с точки зрения безопасности полета, уровня пилотажных характеристик – Ур.1, Ур.2, Ур.3 в зависимости от режимов полета (основной, эксплуатационный и предельный) и состояния системы (нормальное или с отказами) [10]. Уровни пилотажных характеристик характеризуют качество выполнения требований к устойчивости и управляемости самолетов на различных этапах полета:

- *уровень 1* – характеристики устойчивости и управляемости самолетов хорошо соответствуют рассматриваемому этапу полета и пилотажные характеристики самолета оцениваются летчиком по высшему баллу;
- *уровень 2* – характеристики устойчивости и управляемости обеспечивают выполнение задач данного этапа полета при некотором снижении оценки выполнения задачи и при удовлетворительной оценке пилотажных характеристик;
- *уровень 3* – характеристики устойчивости и управляемости не обеспечивают эффективного выполнения задачи на данном этапе полета или его выполнение требует от летчика чрезмерной нагрузки при пилотировании. Оценка пилотажных характеристик летчиком лежит в этом случае на грани допустимого.
- При формулировании требований к резервному каналу целесообразно разделить режимы полета на три области, определяемые скоростью, высотой полета и перегрузкой [10]:
- *основная область* – режимы полета, на которых должны выполняться основные задачи целевого назначения самолета;
- *эксплуатационная область* – режимы полета, которые охватывают все возможные комбинации скорости, высот полета, перегрузки и углов атаки при нормальной эксплуатации самолета в соответствии с его назначением;
- *предельная область* – режимы полета, на которых недопустим выход за пределы значений угла атаки, скорости полета и перегрузки по условиям безопасности полета.

Наличие трех уровней оценки пилотажных характеристик позволяет рассматривать при построении резервного канала варианты заданных требований с различным качеством.

Для решения вопросов практической реализуемости струйного резервного канала необходимо определить требования к характеристикам его элементов, обеспечивающим заданное качество управления.

## **Заключение**

Для обеспечения непрерывности управления объектами повышенной опасности в условиях действия внешних ДФ можно использовать разнородную СУ, включающую наряду с основным каналом резервный – на струйных элементах.

Таким образом, в статье представлены разработанные основные принципы построения разнородной СУ, обеспечивающие функционирование системы в рабочем и аварийном режимах.

Предложен метод, основанный на анализе математической модели реализуемых алгоритмов, который позволяет определить требования к структуре и характеристикам ВРК, обеспечивающим заданное качество управления.

Рассмотренные подходы могут быть использованы при разработке разнородных СУ, для анализа различных вариантов построения струйного вычислителя, оценки возможности их практической реализации с заданными характеристиками.

Проведенный анализ возможных путей построения СУ ЛА, инвариантных к действию ДФ показал, что наиболее предпочтительным является вариант системы управления на основе комплексирования традиционного электронного канала управления объектом управления с каналом управления неэлектрической природы, построенным на элементах струйной техники.

Предпочтительность вышеуказанного варианта резервной СУ перед остальными (на основе различных электромеханических устройств) обусловлена следующими преимуществами: работоспособность комплексированной СУ (КСУ) при действии всего возможного диапазона изменения амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) любых ДФ; высокие точностные характеристики СУ за счет аппаратной избыточности; непрерывность управления за счет наличия канала управления, не подверженного влиянию ДФ.

Указанные преимущества КСУ реализуются благодаря использованию в ее составе приборов, построенных на элементах струйной техники, обладающих рядом достоинств. К их числу относятся: нечувствительность к электромагнитным излучениям, интенсивной радиации, ударным нагрузкам и вибрациям; работоспособность в широком диапазоне рабочих температур; высокая надежность, обусловленная отсутствием подвижных частей; отсутствие электромеханических и механических помех для другой бортовой аппаратуры.

## Литература

1. *Фортон В.Е.* Электромагнитное оружие уже существует. [www.svoboda.org/content/article. 7.09](http://www.svoboda.org/content/article/7.09)
2. Исследования в США поражающих факторов новых видов ЯО направленного действия и стойкости к ним образцов оружия и военной техники. Сборник – М.; МО, 1987.
3. *Копп К. Э.* - бомба - Оружие массового электрического поражения. Университет Монаша (Клейтон, 3168, Австралия). [www.cs.monash.edu.au/~carlo/](http://www.cs.monash.edu.au/~carlo/). 1998 г.
4. *Касимов А.М., Коротков А.В., Мамедли Э.М. и др.* Метод и средства обеспечения безопасности полёта летательного аппарата. //Двойные технологии. -2006. -№4. – С. 44-49.
5. *Касимов А.М., Попов А.И.* Резервная система управления подвижным объектом. // Сб. трудов Совета по управлению движением судов и специальных аппаратов. Вып. XXIX, Анапа. 19-22 июня, 2001. - М.: ИПУ РАН, 2001. - С. 115 - 126.
5. *Манукян Б.С., Касимов А.М., Попов А.И. и др.* Струйный резерв СУ полетом статически неустойчивого самолета. //Тез. докладов Всероссийского совещания «Проблемы развития гидропневмоавтоматики в XXI веке». (4 декабря 2001, Москва). – М.: ИПУ РАН, 2001. – С. 25-27.
6. *Степанов А.М., Белуков А.А., Вологодский Н.В., Касимов А.М.* Струйная пневмоавтоматика воздушно-реактивных двигателей в авиационной практике. // Избранные труды Международной конференции по проблемам управления. 29 июня – 2 июля, 1999. Том 2. М.: Институт проблем управления РАН. - С. 220 - 232.
7. *Касимов А.М., Мамедли Э.М. Попов А.И., Чернявский Л.Т.* Радикальное повышение быстродействия элементной базы резервных систем управления летательным аппаратом. //Датчики и системы. - 2005.- № 4. - С. 29-33.
8. *Касимов А.М., Мамедли Э.М.* Комбинированные системы управления летательными аппаратами. //Датчики и системы. -2008. -№4. –С. 2-5.
9. Аэродинамика, устойчивость и управляемость сверхзвуковых самолетов. Под ред. Г.С. Бюшгенса. - М.: Наука. Физматлит, 1998.
10. *Мамедли Э.М., Самедов Р.Я., Соболев Н.А.* Методы восстановления вычислительного процесса в отказоустойчивых цифровых системах управления реального времени. – М.: Институт проблем управления. 1998. – 75с.