

AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 621.394

Ю.П. Егоров, А.И. Пятаков, Л.И. Сулейманова

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННОГО ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ

Егоров Юрий Петрович, доктор технических наук, профессор, окончил радиотехнический факультет Ленинградского высшего морского инженерного училища им. С.О. Макарова. Главный научный сотрудник ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Специализируется в области макропроектирования больших информационно-управляющих систем. Имеет публикации, монографии, изобретения в области проектирования систем управления. [e-mail: yure@mail.ru].

Пятаков Анатолий Иванович, кандидат технических наук, окончил Военную академию связи им. С.М. Буденного, адъюнктуру (там же). Главный специалист ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Специализируется в области организации и построения систем передачи дискретных сообщений. Имеет публикации в области кодирования и повышения достоверности дискретной информации. [e-mail: uljanovsk-anatol@mail.ru].

Сулейманова Лилия Ирфановна, кандидат технических наук, окончила энергетический факультет Ульяновского государственного технического университета, заместитель главного конструктора ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Имеет публикации в области конструирования технических средств обработки информации. [e-mail: suleimanova.lili@mail.ru].

Аннотация

В статье проведен анализ деструктивных факторов, влияющих на достоверность обработки информации в условиях сложной электромагнитной обстановки. Отмечается, что наиболее опасное воздействие на работу аппаратно-программных комплексов (АПК) оказывает электромагнитный импульс, приводящий к временному нарушению функционирования АПК – сбою или к физическому разрушению элементов комплекса – отказу. Без реализации в АПК специальных методов повышения достоверности не обеспечивается выполнение требований по достоверности обработки информации в условиях электромагнитного воздействия.

Статья посвящена исследованию достоверности обработки информации при сбоях в работе АПК, вызванных воздействием электромагнитного импульса. Рассматриваются методы повышения достоверности обработки информации, основанные на информационной, структурной и временной избыточности. Для каждого из методов описана методика определения достоверности обработки информации в АПК. Приводится оценка выигрыша от применения каждого из указанных методов. Отмечается, что использование в отдельности каждого из методов повышения достоверности не в полной мере обеспечивает выполнение требований ко всем классам достоверности, определенных международными стандартами. Для достижения нужного результата необходимо применение комбинации этих методов.

Ключевые слова: аппаратно-программный комплекс, электромагнитный импульс, достоверность обработки информации, комбинация методов повышения достоверности.

EFFECTIVENESS OF COMPLEX APPLICATION OF INCREASING DATA PROCESSING VALIDITY METHODS

Iurii Petrovich Egorov, Doctor of Engineering, Professor; graduated from the Faculty of Radio-Engineering at the Admiral Makarov Leningrad Higher Maritime School of Engineering; Chief Staff Scientist of Federal Research-and-Production Center Open Joint Stock Company 'Research-and-Production Association 'Mars'; specializes in macro-design of large-scale information management systems; an author of published works, monographs, and inventions in the field of control systems design. e-mail: yupe@mail.ru.

Anatolii Ivanovich Pyatakov, Candidate of Engineering; graduated from the S.M. Budyonny Military Academy of Signal Corps; finished his post-graduate studies at the same Academy; Chief Specialist of Federal Research-and-Production Center Open Joint Stock Company 'Research-and-Production Association 'Mars'; specializes in organization and creation of discrete messages transmitting systems; an author of articles in the field of coding and increasing validity of discrete information. e-mail: uljanovsk-anatol@mail.ru.

Liliia Irfanovna Suleimanova, Candidate of Engineering; graduated from the Power Faculty of Ulyanovsk State Technical University; Deputy Chief Designer of Federal Research-and-Production Center Open Joint Stock Company 'Research-and-Production Association 'Mars'; an author of articles in the field of information processing hardware components designing. e-mail: suleimanova.lili@mail.ru.

Abstract

An analysis for destructive factors effecting on data processing validity under conditions of complex electromagnetic environment is carried out. It is noted that an electromagnetic pulse (EMP) makes the most hazard effect on computer appliances (CA) functioning. The electromagnetic pulse leads to computer appliances functioning temporary problems, namely to errors or a computer appliance elements physical destruction that is a failure. The fulfillment of requirements for data processing validity under electromagnetic effect is not provided without implementation of increasing validity methods in CA.

The article is dedicated to data processing validity researches in case of computer appliances functioning problems caused by an effect of electromagnetic pulse. The methods for the increasing of data processing validity based on information, structure, and temporary redundancy are considered. A procedure for CA data processing validity specification is provided for each of these methods. The paper captures each of these methods benefits and notes that using these methods separately does not provide fulfillment of the requirements to all validity classes that are defined by international standards. To obtain the best possible result, it is necessary to use the combination of all these methods.

Key words: computer appliance, electromagnetic pulse, data processing validity, increasing validity methods' combination.

ВВЕДЕНИЕ

Современные автоматизированные системы управления войсками (АСУВ) характеризуются, как правило, большой размерностью, функциональной сложностью и, как следствие, большим объемом обрабатываемой информации. Технической основой АСУВ являются аппаратно-программные комплексы (АПК), обеспечивающие формирование, прием и хранение информации управления. Главной целью при разработке и создании АПК является удовлетворение требований, предъявляемых к качеству управления в современных условиях, в том числе к достоверности обрабатываемой информации управления.

Выполнение требований по достоверности обрабатываемой информации заслуживает особого внимания в силу специфики использования АПК в АСУВ. Ошибки в обрабатываемой информации в период военных действий могут привести не просто к потере или искажению каких-либо сведений, а вызвать невозможные потери.

Выбор эффективной технологии обработки информации в АПК позволит, с одной стороны, принять техниче-

ские решения, позволяющие выполнить требования по достоверности, а с другой стороны, избежать завышения требований к технической сложности АПК.

1 Подход к оценке достоверности обработки информации в АПК

Под обработкой информации в АПК понимаются операции, направленные на преобразование входных (исходных) данных в выходные данные, обеспечивающие сбор, хранение, преобразование, распределение и выдачу информации.

Условия обработки информации в АПК в период военного противоборства характеризуются сложной электромагнитной обстановкой, приводящей как к кратковременным (импульсным) воздействиям, так и длительным наводкам в соединительных кабелях и элементах АПК. В совокупности, указанные деструктивные факторы вызывают напряжения и токи – электромагнитные помехи, искажающие обрабатываемую в АПК и формируемую для передачи информацию. Они могут привести к временному

нарушению функционирования АПК – сбоем или к физическому разрушению элементов комплекса – отказу.

К деструктивным факторам следует отнести естественные (грозовые и электростатические разряды) или искусственные излучения (электромагнитный импульс ядерного взрыва, преднамеренное локальное электромагнитное воздействие, мешающее электромагнитное излучение высокоточных технических средств объекта размещения АПК), не предусмотренные функциональным назначением АПК.

Под помехами будем понимать всякое случайное воздействие на последовательность двоичных символов, вызывающее ошибки в обрабатываемой информации. Независимо от вида, деструктивное воздействие вызывает электромагнитные поля, создающие помехи, делящиеся на регулярные и импульсные [1–3].

Регулярные помехи возникают и исчезают через определенные промежутки времени и связаны с режимом работы близлежащих технических средств – источников мешающих электромагнитных полей. Регулярные помехи определяются как гармонические. Борьба с регулярными помехами не представляет затруднений (во всяком случае, теоретически). Так, например, фон переменного тока или помеха от определенной радиостанции могут быть устранены компенсацией или фильтрацией. В этой связи наибольший интерес вызывают деструктивные воздействия в виде импульсных помех.

Импульсные помехи – это одиночные импульсы напряжения или их последовательность, произвольные по форме и различные по амплитуде. Данные импульсы проявляются в случайные моменты времени. Для последовательности импульсов характерно, что длительность одного импульса много меньше интервалов между ними.

В ГОСТ Р 51317.1.5-2009 [4] приведен уровень возможных импульсных воздействий на персональные компьютеры с тактовой частотой от 133 до 300 МГц. Наименьшая напряженность электромагнитного поля, при которой происходили неблагоприятные эффекты (сбой программного обеспечения), равнялась 30 В/м, а при напряженности электрического поля более 100 В/м компьютер пе-

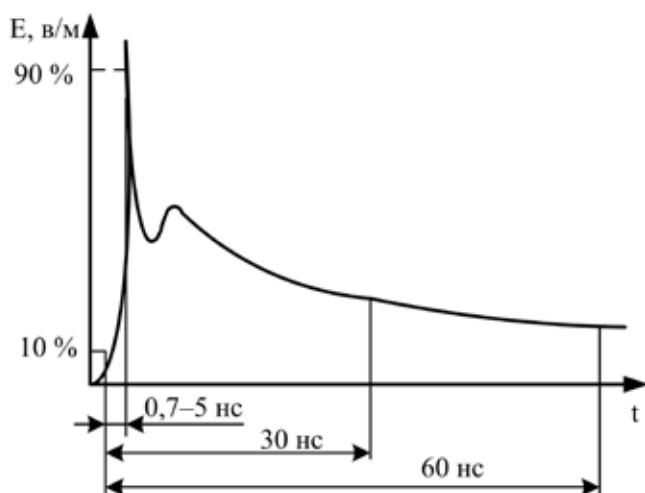


Рис. 1. Распределение напряженности поля при импульсном воздействии на АПК

резапускался или отключался. Важно отметить, что новые конструкции ПК, как правило, лучше сконструированы с точки зрения технологий электромагнитной совместимости (ЭМС), что проявляется в том, что типичные значения напряженности поля, при которых происходят отказы функционирования компьютера, составляют десятки и сотни В/м. Это обусловлено более высокой тактовой частотой процессора и соответствием нового оборудования требованиям распространяющихся на него стандартов ЭМС, что приводит к более эффективному экранированию оборудования [4].

Импульсные помехи имеют широкий диапазон по длительности воздействия от нескольких наносекунд до десятков микросекунд. На рисунке 1 представлена обобщенная форма распределения напряженности поля при импульсном воздействии на АПК [5].

Из рисунка видно, что до 90% энергии сосредоточено в фазе нарастания импульса, которая составляет, например, для электростатического разряда $t_n = 0,7–4$ нс, а для высотного ядерного взрыва – $t_n = 2–5$ нс. Спад импульса растягивается на 200–800 нс.

Короткие фазы нарастания приводят, как правило, к одиночным ошибкам, более растянутая энергия спада импульса – к ошибкам, сгруппированным в пакки.

Пачкой ошибок длины l назовем часть последовательности ошибок, состоящую из l -символов, начинающуюся и заканчивающуюся ошибками и не содержащую более $z - 1$ подряд идущих безошибочных символов. Число z называют защитным интервалом, интервалом пакетирования или критерием пакетообразования.

Простейшей моделью, имитирующей пакетированные ошибки, является двухпараметрическая модель процесса обработки информации [6]. В этой модели для описания источника ошибок (импульса) используется два параметра: $p_{иск}$ и α , где $p_{иск}$ – вероятность искажения одного двоичного элемента кодовой последовательности при обработке в АПК; α – коэффициент группирования ошибок.

Оценка влияния ошибок производится с помощью вероятности получения результатов обработки в любой из операций над n -элементным кодовым словом (32- или 64-разрядным):

- хотя бы с одной ошибкой $P(\geq 1, n)$;
- с m ошибками $P(m, n)$;
- с m и более ошибками $P(\geq m, n)$.

В [7] показано, что для двухпараметрической модели $P(\geq 1, n) = p_{иск} \cdot n^{1-\alpha}$, $0 < \alpha < 1$. (1)

В предельных случаях при $\alpha = 0$ пакетирование ошибок отсутствует и появление ошибок можно считать независимым. При $\alpha = 1$ все ошибки сосредоточены в виде одного пакета.

Вероятность появления в кодовом слове ошибок кратности m и более может быть приближенно определена по формуле:

$$P(\geq m, n) = \left(\frac{n}{m}\right)^{1-\alpha} \cdot P_{иск} \quad (2)$$

Вероятность завершения операции с m ошибками определяется с помощью соотношений (1) и (2) из выражения

$$P(m, n) = P(\geq m, n) - P(\geq m + 1, n). \quad (3)$$

Графическое представление вероятности обработки кодового слова с m ошибками в зависимости от вероятности искажения одного двоичного элемента кодовой последовательности приведены на рисунке 2.

Кривые 1 и 2 характеризуют вероятности завершения обработки кодового слова хотя бы с одной ошибкой при оперировании, соответственно, 64- и 32-разрядными словами. Кривые 3 и 4 характеризуют вероятности завершения обработки кодового слова с m и более ошибками для 64- и 32-разрядных слов, соответственно.

Согласно международному стандарту ГОСТ IEC-60870-4-2011, различают следующие классы достоверности I1, I2, I3. Значения показателей достоверности сведены в таблицу 1.

Сравнивая расчетные значения с требованиями, приведенными в таблице 1, можно сделать вывод о необходимости применения в АПК специальных методов повышения достоверности обработки информации в условиях воздействия деструктивных факторов.

2 АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В АПК

Достоверность информации – свойство информации отражать реальное или оцениваемое состояние объектов и процессов прикладной области информационных систем со степенью приближения, обеспечивающей эффективное использование этой информации согласно целевому назначению системы [8].

Достоверность выходной информации определяется истинностью исходных данных, безошибочностью входной информации, корректностью обработки, безошибочностью при хранении и передаче информации и сохранением ее актуальности на момент использования.

В данной работе остановимся на методах повышения достоверности при обработке информации в АПК.

Основными методами защиты АПК от электромагнитных воздействий являются экранирование и фильтрация. Однако в случаях, когда мгновенное катастрофическое повреждение АПК исключено и опасность для него представляют нарушения или прекращения функционирования, вызванные возможными сбоями программного обеспечения, применимы альтернативные методы защиты от электромагнитных воздействий большой мощности, основанные на введении в АПК избыточности [4].

В [9] показано, что необходимая достоверность обработки информации достигается использованием в АПК информационной, структурной или временной избыточности.

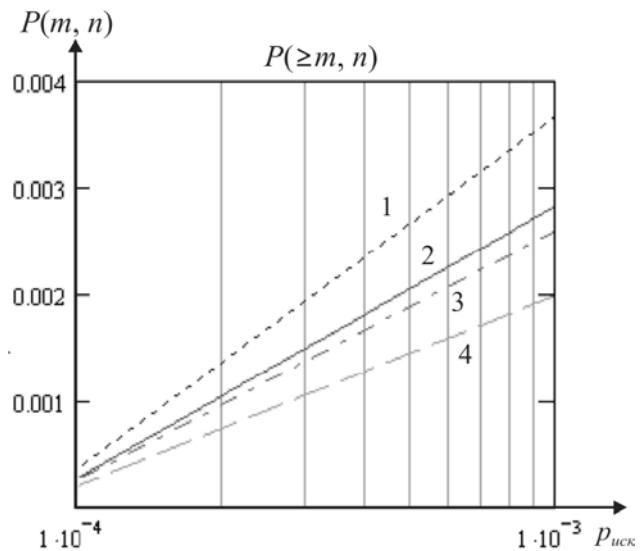


Рис. 2. Вероятность обработки кодового слова с m ошибками

Таблица 1

Классы достоверности данных

Класс достоверности данных	Вероятность появления необнаруженных ошибок
I1	$\leq 10^{-6}$
I2	$\leq 10^{-10}$
I3	$\leq 10^{-14}$

Информационная избыточность может быть естественной и искусственной. Естественная информационная избыточность отражает объективно существующие связи между элементами алфавита, объединенными в синтаксически и семантически разрешенные конструкции – форматы сообщений, соответствие которым позволяет судить о достоверности информации. Искусственная информационная избыточность характеризуется введением дополнительных информационных разрядов для используемых данных и дополнительных операций в процедуры обработки данных, имеющих математическую или логическую связь с алгоритмом обработки данных. На основании анализа результатов дополнительных операций и процедур обработки данных, а также дополнительных информационных разрядов выявляется наличие или отсутствие ошибок определенного типа, а также возможности их исправления.

Структурная избыточность предусматривает дублирование в составе АПК одних и тех же функций различными процедурами, с последующей мажоритарной обработкой результата.

Временная избыточность связана с возможностью повторения определенного контролируемого этапа обработки данных. Результаты обработки сравнивают между собой с целью контроля достоверности.

На практике получили применение различные комбинации перечисленных методов.

3 ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В АПК ЗА СЧЕТ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ

При обработке информации АПК для помехоустойчивого кодирования используются арифметические коды (AN-коды). AN-коды имеют свойства и исправляющую способность, подобные циклическим кодам, но отличаются от циклических кодов правилами построения [10]. Поэтому в дальнейшем для оценки корректирующей способности AN-кодов будем оперировать математическим аппаратом, предложенным для циклических кодов.

Корректирующая способность AN-кодов размерности (n, k) зависит от величины, внесенной в кодовое слово избыточности $r = n - k$, и режима декодирования. В режиме обнаружения ошибки вероятность завершения операции обработки с необнаруженной ошибкой равна [11, 12]:

$$P_{ош} = \frac{1}{2^{n-k}} \cdot \left(\frac{n}{d}\right)^{1-\alpha} \cdot P_{иск}, \quad (4)$$

где n – длина кодового слова, включая избыточные элементы;

k – количество информационных разрядов кодового слова;

d – минимальное кодовое расстояние корректирующего кода.

В режиме исправления ошибки вероятность завершения операции обработки с неисправленной ошибкой равна:

$$P_{ош} = \left(\frac{n}{t}\right)^{1-\alpha} \cdot P_{иск}, \quad (5)$$

где $t = (d - 1)/2$ – кратность исправляемых ошибок.

На рисунке 3 приведены результаты оценки вероятности ошибки в кодовом слове при применении корректирующих кодов в режиме обнаружения по сравнению с простым кодом КОИ-8.

В современных вычислительных комплексах наибольшее применение нашли корректирующие коды с проверкой на четность. Размерность такого кода (9, 8). Из рисунка видно, что применение такого кода дает незначительный выигрыш в достоверности. Эффективнее применение кодов большей разрядности, определяемых разрядностью процессоров АПК – 32 или 64 бита (коды (40, 32), (48, 32), (80, 64), (88, 64)).

На рисунке 4 приведены результаты оценки вероятности ошибки в кодовом слове при применении корректирующих кодов в режиме исправления ошибок.

Коэффициент эффективности, характеризующий выигрыш по достоверности за счет информационной избы-

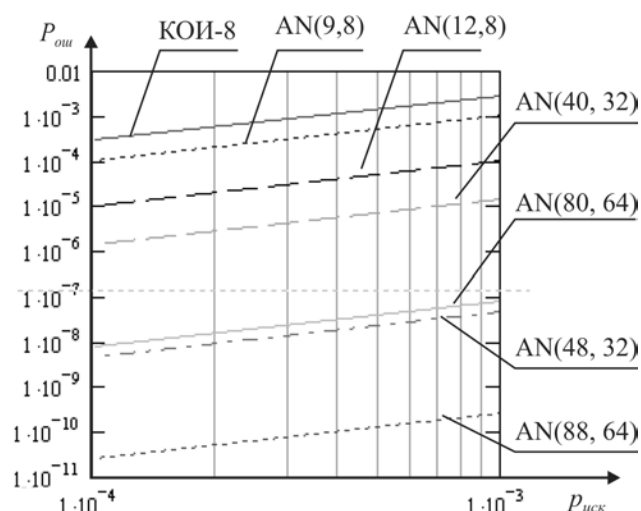


Рис. 3. Вероятность необнаруженной ошибки в кодовом слове при применении корректирующих кодов в режиме обнаружения

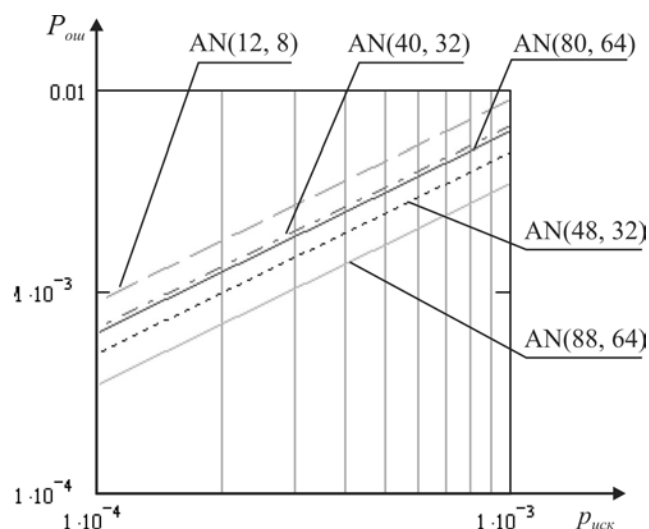


Рис. 4. Вероятность неисправленной ошибки в кодовом слове при применении корректирующих кодов в режиме исправления

точности по сравнению с простым кодом КОИ-8, определяется следующим соотношением:

$$\eta = \frac{P(\geq 1, n)}{P_{ош}}. \quad (6)$$

Расчетные значения коэффициента эффективности сведены в таблицу 2.

Из таблицы видно, что использование при обработке информации корректирующих кодов в режиме обнаружения ошибок более эффективно по сравнению с режимом исправления.

Таблица 2

Значения коэффициента эффективности при информационной избыточности

Код	(9, 8)	(12, 8)	(40, 32)	(48, 32)	(80, 64)	(88, 64)
Режим обнаружения	2,8	29	200	$6 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^6$	$11 \cdot 10^6$
Режим исправления	–	1,1	1,1	1,41	1,1	1,41

Применением только одной информационной избыточности можно добиться требуемой достоверности, но это неминуемо приведет к усложнению и снижению производительности АПК.

4 ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В АПК ЗА СЧЕТ СТРУКТУРНОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ

Одним из способов повышения достоверности является дублирование процессов обработки информации.

На рисунке 5 в строках представлены кодовые слова длиной n , сформированные каждое своим процессом с вероятностью ошибки $P_{ош_i}$. Итоговое решение о достоверности результатов обработки принимается по приоритетно-мажоритарному способу с вероятностью $P_{ош\Sigma}$.

При трехкратном дублировании правильное решение возможно в двух случаях: когда в трех процессах кодовое слово обработано правильно или когда оно обработано правильно 2 раза из трех. Вероятность первого случая

$$p_1 = (1 - p_{иск})^{3 \cdot n}, \text{ где } n - \text{длина кодового слова [13].}$$

Вероятность второго случая в предположении независимости ошибок $p_2 = C_3^2 \cdot (1 - p_{иск})^{2 \cdot n} \cdot [1 - (1 - p_{иск})^n]$, где C_3^2 – число сочетаний из 3 по 2.

Вероятность ошибочной обработки кодового слова
$$P_{ош\Sigma} = 1 - p_1 - p_2. \tag{7}$$

При пятикратном дублировании правильное решение возможно в трех случаях:

- все пять раз кодовое слово обработано

правильно $p_1 = (1 - p_{иск})^{5 \cdot n};$

- кодовое слово обработано правильно четыре раза

$$p_2 = C_5^4 \cdot (1 - p_{иск})^{4 \cdot n} \cdot [1 - (1 - p_{иск})^n];$$

- кодовое слово обработано правильно три раза:

$$p_3 = C_5^3 \cdot (1 - p_{иск})^{3 \cdot n} \cdot [1 - (1 - p_{иск})^n]^2.$$

Вероятность ошибочной обработки кодового слова

$$P_{ош\Sigma} = 1 - p_1 - p_2 - p_3. \tag{8}$$

На рисунке 6 приведены результаты оценки вероятности ошибки в кодовом слове при мажоритарной обработке «2 из 3-х» (2/3) и «3 из 5-ти» (3/5).

Коэффициент эффективности, характеризующий выигрыш по достоверности за счет структурной избыточности по сравнению с простым кодом КОИ-8, определяется в соответствии с соотношением (6). Расчетные значения коэффициента эффективности сведены в таблицу 3.

Из таблицы видно, что выигрыш в повышении достоверности за счет применения мажоритарной обработки для трех независимых процессов лежит в пределах 9÷18 раз, а при применении пяти независимых процессов – 10²÷10⁴ раз.

Применение данного метода повышения достоверности как самостоятельного не выполняет требования по достоверности обработки информации для классов I2 и I3.

На рисунке 7 приведены результаты оценки вероятности ошибки в кодовом слове при комбинированном применении методов помехоустойчивого кодирования и мажоритарной обработки. Расчетные значения коэффициента эффективности при комбинированном применении методов помехоустойчивого кодирования и мажоритарной обработки сведены в таблицу 4.

Из рисунка 7 видно, что применение комбинированной обработки дает неплохие результаты и может быть использовано для достижения требуемой достоверности обработки информации для класса достоверности I3.

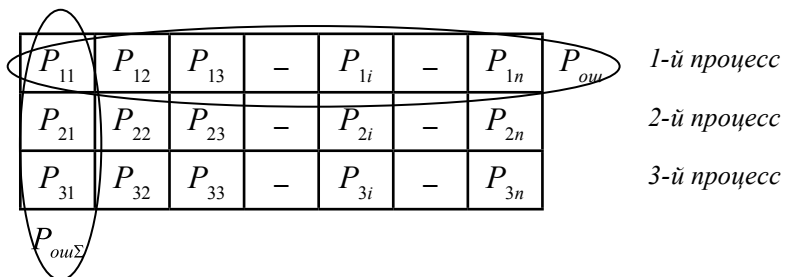


Рис. 5. Матрица вероятности ошибочного решения по результатам обработки

Таблица 3

Значения коэффициента эффективности при структурной избыточности

Код	КОИ-8	32-разрядное слово	64-разрядное слово
Трехкратное дублирование	9,2	18	9,2
Пятикратное дублирование	5,5 · 10 ⁴	1,7 · 10 ³	5,1 · 10 ²

Таблица 4

Значения коэффициента эффективности при комбинированном применении методов помехоустойчивого кодирования и мажоритарной обработки

Код	КОИ-8	32-разрядное слово	64-разрядное слово
Трехкратное повторение	9,2 · 10 ³	1,8 · 10 ⁴	9,1 · 10 ⁷
Пятикратное повторение	5,5 · 10 ⁶	1,7 · 10 ⁸	4,6 · 10 ¹⁰

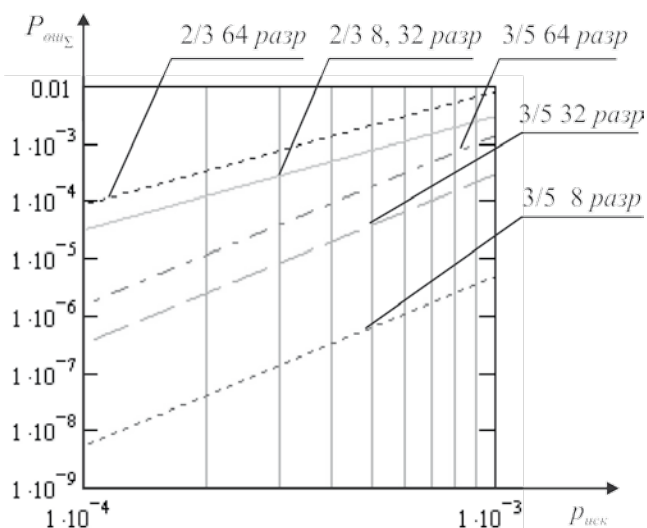


Рис. 6. Вероятность ошибки в кодовом слове при мажоритарной обработке

5 ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В АПК ЗА СЧЕТ ВРЕМЕННОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ

Одним из основных методов повышения достоверности обработки информации в АПК является применение временной избыточности. Резерв времени, получаемый при временной избыточности АПК, можно использовать для многократного повторения одной и той же операции.

По завершении φ -й попытки выполнения операции повышение достоверности возможно несколькими способами. Наиболее характерными являются:

- накопление кодовых слов, в которых ошибка не обнаружена, с таким расчетом, чтобы за φ попыток собрать все сообщение;
- мажоритарная обработка накопленных слов в φ попытках.

Вероятность ошибочного результата при накоплении кодовых слов, в которых ошибка не обнаружена корректирующим кодом, определяется [14]:

$$P_{нак} = 1 - (1 - P_{ст}^\varphi)^n, \quad (9)$$

Значения коэффициента эффективности при временной избыточности

Код	КОИ-8	32-разрядное слово	64-разрядное слово
Трехкратное повторение и накопление	$1,9 \cdot 10^5$	$8,1 \cdot 10^5$	$9,7 \cdot 10^5$
Пятикратное повторение и накопление	$3,2 \cdot 10^{10}$	$1,3 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^{11}$

Таблица 5

Значения коэффициента эффективности при комбинированном применении методов помехоустойчивого кодирования и мажоритарной обработки

Код	КОИ-8	32-разрядное слово	64-разрядное слово
Трехкратное повторение	$1,9 \cdot 10^7$	$7,9 \cdot 10^9$	$1,1 \cdot 10^{12}$
Пятикратное повторение	$1,9 \cdot 10^{13}$	$7,9 \cdot 10^{15}$	$1,1 \cdot 10^{18}$

Таблица 6

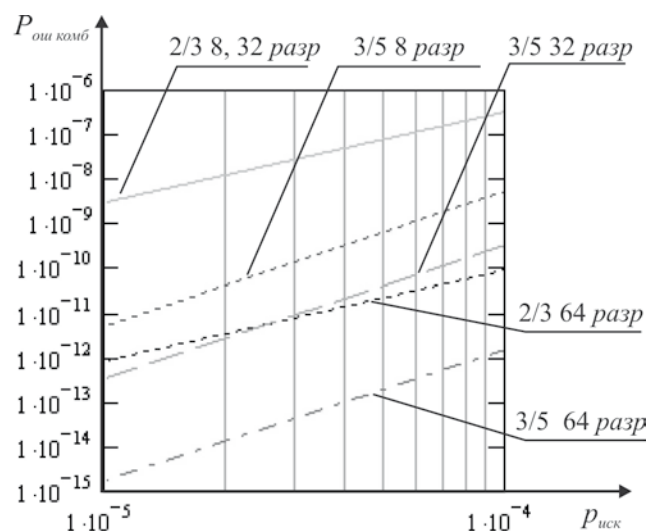


Рис. 7. Вероятность ошибки в кодовом слове при комбинированной обработке

где $P_{ст}$ – вероятность стирания кодового слова длиной n , в котором обнаружена ошибка.

Вероятность ошибочного результата при мажоритарной обработке была описана выше.

На рисунке 8 представлены результаты оценки вероятности ошибки в кодовом слове при многократном повторении одной и той же операции и накоплении кодовых слов, в которых ошибка не обнаружена.

Расчетные значения коэффициента эффективности сведены в таблицу 5.

Из таблицы 5 видно, что выигрыш в повышении достоверности при многократном повторении одной и той же операции и накоплении кодовых слов, в которых ошибка не обнаружена, лежит в пределах $10^5 \div 10^{11}$ раз, что может быть использовано для достижения требуемой достоверности обработки информации для классов достоверности I2, I3.

На рисунке 9 приведены результаты оценки вероятности ошибки в кодовом слове при комбинированном применении методов помехоустойчивого кодирования, многократной и мажоритарной обработки.

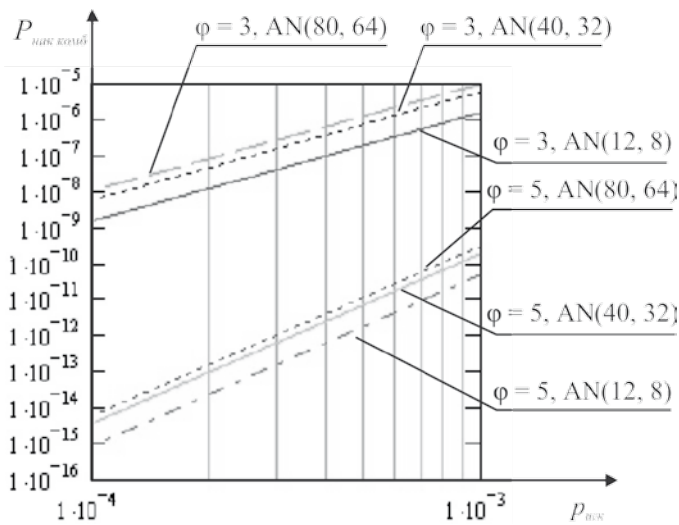


Рис. 8. Вероятность ошибки в кодированном слове при помехоустойчивом кодировании и накоплении

Расчетные значения коэффициента эффективности при комбинированном применении методов помехоустойчивого кодирования и мажоритарной обработки сведены в таблицу 6.

Из таблицы 6 видно, что применение комбинированной обработки путем введения в АПК всех трех видов избыточности позволяет достичь требуемых результатов при минимальном числе повторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Условия обработки информации в период военного противоборства характеризуются сложной электромагнитной обстановкой, приводящей как к временному нарушению функционирования, так и к физическому разрушению элементов АПК.

Наиболее опасны для функционирования АПК импульсные помехи, вызывающие искажения в обрабатываемой информации от одиночных бит до участков, накрывающих целые слова.

Повышение надежности и достоверности обрабатываемой в АПК информации неизменно связано с усложнением конструкции, а следовательно, с удорожанием их производства.

Приведенная в статье методика оценки достоверности обработки информации позволит при конструировании достичь требуемых результатов, избежав при этом излишнего усложнения конструкции и программного обеспечения АПК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кравченко В.И., Болотов Е.А., Летунова Н.И. Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи / под ред. В.И. Кравченко. – М. : Радио и связь, 1987. – 256 с.
2. Мырова Л.О., Чепиженко А.В. Обеспечение стойкости аппаратуры связи к ионизирующим и электромагнитным излучениям. – М. : Радио и связь, 1988. – 296 с.

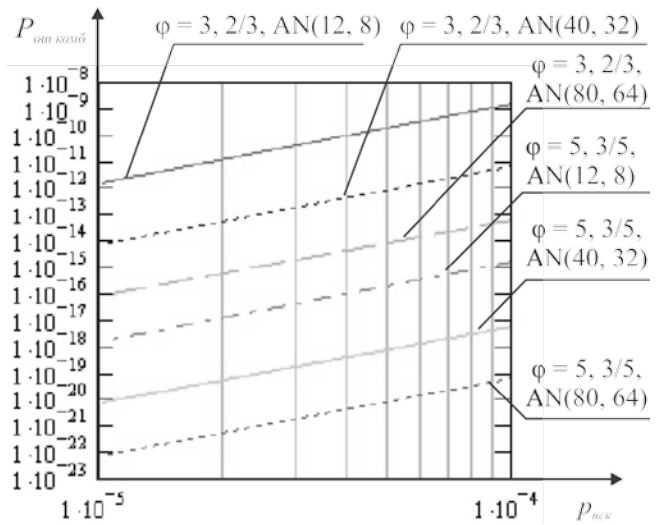


Рис. 9. Вероятность ошибки в кодированном слове при помехоустойчивом кодировании, многократной и мажоритарной обработках

3. Пятаков А.И., Егоров Ю.П., Чернышев И.В. Оценка влияния оперативного контроля на надежность аппаратно-программного комплекса // Автоматизация процессов управления. – 2013. – № 3 (33). – С. 21–26.

4. ГОСТ Р 51317.1.5-2009 (МЭК 61000-1-5:2004). Совместимость технических средств электромагнитная. Воздействия электромагнитные большой мощности на системы гражданского назначения. Основные положения. – М. : Стандартинформ, 2009. – 54 с.

5. Гизатуллин З.М. Помехоустойчивость средств вычислительной техники внутри зданий при широкополосных электромагнитных воздействиях. Монография. – Казань : Государственный технический университет, 2012. – 254 с.

6. Передача дискретных сообщений : учебник для вузов / В.П. Шувалов, Н.В. Захарченко, В.О. Шварцман [и др.] ; под ред. В.П. Шувалова. – М. : Радио и связь, 1990. – 464 с.

7. Шварцман В.О., Емельянов Г.А. Теория передачи дискретной информации. – М. : Связь, 1979. – 424 с.

8. ГОСТ РВ 51987-2002. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Типовые требования и показатели качества функционирования информационных систем. Общие положения. – М. : Стандартинформ, 2002. – 53 с.

9. Мамионов А.Г., Кульба В.В., Шелков А.Б. Достоверность. Защита и резервирование информации в АСУ. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 304 с.

10. Питерсон У., Уэлдон Э. Коды, исправляющие ошибки. – М. : Мир, 1976. – 593 с.

11. Кодирование информации (двоичные коды) / под ред. Н.Т. Березюк. – Харьков : «Вища школа», 1978. – 252 с.

12. Пятаков А.И., Егоров Ю.П. Оценка минимально достижимой вероятности приема ложного сообщения в автоматизированных системах управления войсками // Автоматизация процессов управления. – 2010. – № 3 (21). – С. 49–54.

13. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М. : Издательский центр «Академия», 2003. – 576 с.

14. Пятаков А.И., Исаев Г.И., Штанов А.Ю. Основы построения каналов передачи данных. Ч. 1. Системы передачи данных. – Ульяновск : УВВИУС, 1995. – 83 с.

REFERENCES

1. Kravchenko V.I., Bolotov E.A., Letunova N.I. *Radioelektronnye sredstva i moshchnye elektromagnitnye pomekhi. Pod red. V.I. Kravchenko* [Radioelectronic Facilities and High-Power EMC Noise. Under the Editorship of V.I. Kravchenko]. Moscow, Radio i sviaz Publ., 1987. 256 p.

2. Myrova L.O., Chepizhenko A.V. *Obespechenie stoikosti apparatury svyazi k ioniziruiushchim i elektromagnitnym izlucheniiam* [Ensuring of Tolerance for Communication Equipment to Ionizing and Electromagnetic Effects]. Moscow, Radio i sviaz Publ., 1988. 296 p.

3. Pyatakov A.I., Egorov Yu.P., Chernyshev I.V. *Otsenka vliianiia operativnogo kontroliia na nadezhnost apparatno-programmnogo kompleksa ASU* [Evaluation of the Influence of Compulsory Checking on Hardware-and-Software Complex Reliability of Computer-Aided Control System]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2013, no. 3 (33), pp. 21–26.

4. GOST R 51317.1.5-2009 (IEC 61000-1-52004) *Sovmestimost tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaia. Vozdeistviia elektromagnitnye bolshoi moshchnosti na sistemy grazhdanskogo naznacheniiia. Osnovnye polozeniia* [Electromagnetic Compatibility of Technical Equipment. High Power Electromagnetic Effects on Civil Systems. Basic Provisions].

5. Gizatullin Z.M. *Pomekhoustoichivost sredstv vychislitelnoi tekhniki vnutri zdanii pri shirokopolosnykh elektromagnitnykh vozdeistviakh. Monografiia* [Noise Stability of Indoor Computer Systems after Broadband Electromagnetic Effects. Monograph], Kazan, State Technical University Publ., 2012. 254 p.

6. Shuvalov V.P., Zakharchenko N.V., Schwarzman V.O, et al. *Peredacha diskretnykh soobshchenii. Uchebnik dlia vuzov*

[Discrete Message Transmission. Textbook for University-Students. Under the Editorship of V.P. Shuvalov]. Moscow, Radio i sviaz Publ., 1990. 464 p.

7. Schwarzman V.O., Emelianov G.A. *Teoriia peredachi diskretnoi informatsii* [Digital Transmission Theory]. Moscow, Sviaz Publ., 1979. 424 p.

8. GOST RV 51987-2002. *Informatsionnaia tekhnologiia. Kompleks standartov na avtomatizirovannye sistemy. Tipovye trebovaniia i pokazateli kachestva funktsionirovaniia informatsionnykh sistem. Obshchie polozeniia* [Information Technology. Set of Standards for Automated Systems. Standard Requirements and Quality Performances for Automated Systems. General Provisions].

9. Mamikonov A.G., Kulba V.V., Shelkov A.B. *Dostovernost. Zashchita i rezervirovanie informatsii v ASU* [Validity. Information Backup and Security for Computer-Aided Control Systems]. Moscow, Energoatom izdat Publ., 1986. 304 p.

10. Peterson W.W., Weldon E.J. *Kody, ispravliaiushchie oshibki* [Error-Correcting Codes]. Moscow, Mir Publ., 1976. 593 p.

11. *Kodirovanie informatsii (dvoichnye kody)*. Pod red. N.T. Bereziuk [Information Coding (Binary Codes). Under the Editorship of N.T. Bereziuk]. Kharkiv, Vishcha shkola Publ., 1978. 252 p.

12. Pyatakov A.I., Egorov Yu.P. *Otsenka minimalno dostizhimoii veroiatnosti priema lozhnogo soobshcheniia v avtomatizirovannykh sistemakh upravleniia voiskami* [Evaluation of Minimum Achievable Probability of Reception of Bogus Message in Computer-Aided Troop-Control Systems]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2010, no. 3 (21), pp. 49–54.

13. Venttsel E.S. *Teoriia veroiatnostei* [Probability Theory]. Moscow, Izdatelskii tsentr Akademiia Publ., 2003. 576 p.

14. Pyatakov A.I., Isaev G.I., Shtanov A.Iu. *Osnovy postroeniia kanalov peredachi dannykh. Chast 1. Sistemy peredachi dannykh* [Fundamentals of Data Communication Channels. Part 1. Data Communication Systems]. UVVIUS Publ., 1995. 83 p.