

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.384.8

А.В. Брыков, Б.И. Колотилин**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТЕЙ ФРОНТОВ ИМПУЛЬСОВ ПИТАЮЩЕГО ВЫСОКОЧАСТОТНОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ДИАГРАММУ СТАБИЛЬНОСТИ И РАЗРЕШАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ГИПЕРБОЛОИДНОГО МАСС-СПЕКТРОМЕТРА ТИПА ТРЕХМЕРНОЙ ЛОВУШКИ**

Проводится анализ влияния изменения относительных длительностей фронтов питающего электрода анализатора гиперболоидного масс-спектрометра высокочастотного напряжения импульсный «ЕС-сигнал» на конфигурацию совмещённой диаграммы стабильности. На основе результатов численного моделирования определяются параметры периода ВЧ напряжения, позволяющие уменьшить влияние изменения длительностей фронтов импульсов.

Ключевые слова: гиперболоидный масс-спектрометр типа трёхмерной ловушки, разрешающая способность, ВЧ напряжение, импульсный «ЕС-сигнал».

Введение. Одним из направлений развития гиперболоидной масс-спектрометрии является направление, связанное с улучшением аналитических характеристик масс-анализаторов за счёт изменения формы питающего напряжения, подаваемого на электродные системы таких приборов.

Ранее в работе [1] проводился анализ использования высокочастотного (ВЧ) напряжения импульсный «ЕС-сигнал» без учёта фронтов, то есть с идеальной формой импульсов. Но любое реальное импульсное ВЧ напряжение содержит фронты нарастания и спада импульсов.

В работе [2] автором было проанализировано влияние длительности и формы фронтов рабочих импульсов на конфигурацию первой общей зоны диаграммы стабильности при питании гиперболоидного масс-спектрометра (ГМС) обычным импульсным ВЧ напряжением, состоящим из двух разнополярных импульсов. Было показано, что фронты синусоидальной формы оказывают меньшее влияние на параметры ГМС, чем линейные фронты импульсов.

Поскольку генераторы импульсов с гармоническими фронтами в настоящее время по ряду причин являются предпочтительными, то рас-

смотрим ВЧ напряжение несимметричный импульсный «ЕС-сигнал» с гармоническими фронтами.

Целью данной работы является анализ влияния длительностей фронтов импульсов ВЧ напряжения несимметричный импульсный «ЕС-сигнал» на конфигурацию совмещённой диаграммы стабильности, а также определение режима работы, снижающего влияние изменения длительности фронтов питающего ВЧ напряжения на разрешающую способность ГМС при частотной развёртке спектра масс.

Изменение конфигурации первой зоны диаграммы стабильности при наличии фронтов импульсов на периоде ВЧ напряжения несимметричный импульсный «ЕС-сигнал». В работе [1] были определены и описаны параметры периода ВЧ напряжения импульсный «ЕС-сигнал», а также представлен вид одного периода этого ВЧ напряжения идеальной формы, то есть без фронтов.

Для определённости было выбрано ВЧ напряжение импульсный «ЕС-сигнал» с $N = 4$ и $\nu_0 = k = 1$. Вид одного периода такого импульсного ВЧ напряжения с гармоническими фронтами представлен на рисунке 1.

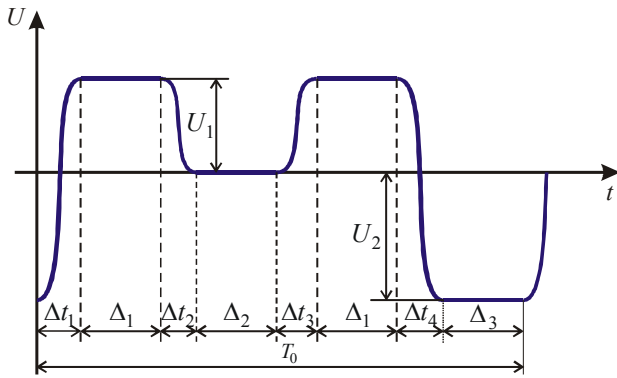


Рисунок 1 – Форма периода ВЧ напряжения несимметричный импульсный «ЕС-сигнал» с гармоническими фронтами

$\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3, \Delta t_4$ – длительности фронтов ВЧ напряжения; U_1 и U_2 – амплитуды фокусирующих и расфокусирующих импульсов ВЧ напряжения «ЕС-сигнал»; T_0 – период ВЧ напряжения

Для расчёта траекторий движения заряженных частиц и совмещённой диаграммы стабильности использовался метод замены гладкой функции ступенчатой, описанный в работе [3]. Длительности фронтов импульсов на периоде ВЧ напряжения были приняты для упрощения одинаковыми. Предполагалось, что величина длительностей фронтов импульсов изменяется в пределах 0,01-0,05 относительно периода T_0 ВЧ напряжения. Это соответствовало реальным значениям длительностей фронтов импульсов в пределах 50-65 нс, получаемым при использовании в выходных каскадах генератора СВЧ транзисторов, работающих в ключевом режиме.

При этих условиях была рассчитана первая зона совмещённой диаграммы стабильности в случае применения ВЧ напряжения импульсный «ЕС-сигнал» с гармоническими фронтами для питания электродов ГМС типа трёхмерной ловушки (ТЛ).

Смещение верхней вершины первой зоны совмещённой диаграммы стабильности при изменении относительной длительности фронтов импульсов в пределах 0,01-0,05 T_0 приведено на рисунке 2. При увеличении относительной длительности фронтов вершина первой общей зоны диаграммы стабильности смещается вверх и вправо. В процентах наибольшее перемещение вершины при увеличении относительной длительности фронтов наблюдается по a_1 координате на 2,1%, по координате a_2 смещение верхней вершины в сторону больших значений a_2 в 2 раза меньше.

Перемещение вершины первой зоны диаграммы стабильности при увеличении относи-

тельной длительности фронтов импульсов в 5 раз должно приводить к изменению разрешающей способности масс-спектрометра.

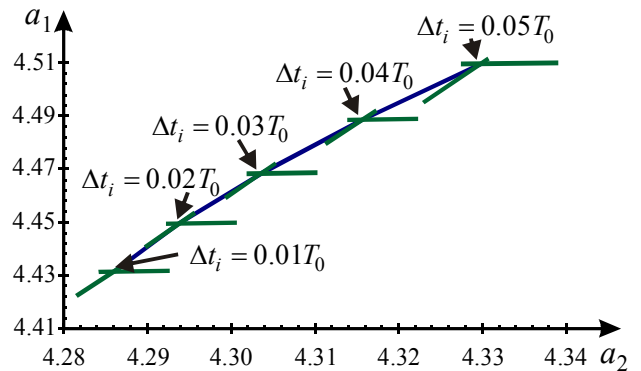


Рисунок 2 – Сдвиг верхней вершины первой зоны диаграммы стабильности при изменении относительной длительности фронтов импульсов ВЧ напряжения «ЕС-сигнал» с $N = 4$ и $\nu_0 = k = 1$

Зависимость разрешающей способности анализатора от относительной длительности фронтов импульсов данного ВЧ напряжения приведена на рисунке 3. Кривая 1 соответствует тангенсу угла наклона рабочей прямой λ , определяющей разрешающую способность, равную 50, при минимальной относительной длительности фронтов импульсов, равной $0,005 T_0$. При увеличении относительной длительности фронтов ВЧ напряжения «ЕС-сигнал» до $0,05 T_0$ разрешающая способность плавно уменьшается до 20. Заметим, что максимальная длительность фронтов импульсов, равная $0,05 T_0$, соответствует минимальной величине анализируемой массы 2-5 а.е.м., а минимальная длительность – $0,005 T_0$ соответствует 200 а.е.м. То есть такое изменение разрешающей способности недостаточно для обеспечения работы ГМС в данном массовом диапазоне.

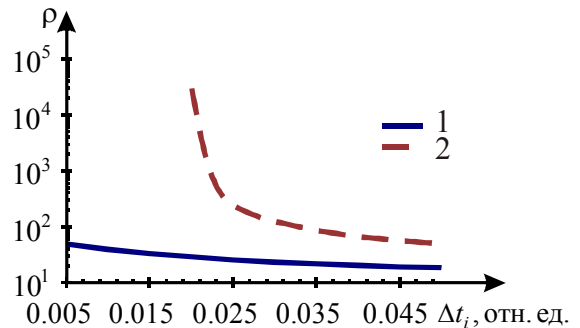


Рисунок 3 – Зависимость разрешающей способности от относительной длительности фронтов импульсов ВЧ напряжения «ЕС-сигнал» с $N = 4$ и $\nu_0 = k = 1$

1 - λ соответствует $\rho = 50$ при $\Delta t_i = 0,005$;
 2 - λ соответствует $\rho = 50$ при $\Delta t_i = 0,05$

Кривая 2 соответствует случаю, при котором тангенс угла наклона рабочей прямой выбирался таким, чтобы при использовании ВЧ напряжения «ЕС-сигнал» с относительной длительностью фронтов импульсов, равной 0,05 (2 а.е.м.), разрешающая способность ГМС равнялась 50. Уменьшение относительной длительности фронта импульсов приводит к резкому увеличению разрешающей способности и при значении относительной длительности, равной 0,02 (~20 а.е.м.), разрешающая способность возрастает до 30000. Дальнейшее уменьшение относительных длительностей фронтов импульсов ведёт к выходу рабочей прямой за пределы первой общей зоны диаграммы стабильности.

Изменение конфигурации высших зон совмещённой диаграммы стабильности при наличии фронтов импульсов ВЧ напряжения несимметричный импульсный «ЕС-сигнал». Высшие зоны стабильности образуются в результате пересечения стабильных областей по r и z координате, поэтому рассмотрим изменение положения областей стабильности по каждой координате в отдельности. Выберем два крайних случая при относительной длительности фронтов импульсов, равной $0,005 T_0$ и $0,05 T_0$. Рассчитанные диаграммы стабильности по r и z координатам соответственно приведены на рисунке 4.

Вторая и третья стабильные области по r координате при увеличении относительной длительности фронтов ВЧ напряжения смещаются в сторону больших значений a_1 : вторая область сдвигается на 1-1,5 %, третья стабильная область сдвигается на 5 %. То же самое происходит с диаграммой стабильности, соответствующей z координате. При увеличении относительной длительности фронтов ВЧ напряжения области стабильных решений смещаются в сторону больших значений параметра a_2 в среднем на 4-5 %.

Одним из основных режимов работы ГМС в высших зонах диаграммы стабильности является режим одномерной сортировки, при котором рабочая прямая проходит через середину одной из выбранных высших зон стабильности. Если при изменении относительной длительности фронтов ВЧ напряжения «ЕС-сигнал» выбранная для работы анализатора стабильная зона будет смещаться вдоль рабочей прямой в сторону больших значений параметров a_1 и a_2 , то при этом в первом приближении изменения разрешающей способности происходить не будет.

Из работы [4] известно, что при использовании ВЧ напряжения «ЕС-сигнал» наибольший захват ионов ВЧ полем будет обес-

печиваться по r координате в пределах бесполового временного промежутка Δ_2 , поэтому для получения возможно большей чувствительности для работы масс-спектрометра выбирают высшие зоны 1-2 и 1-3 диаграммы стабильности.

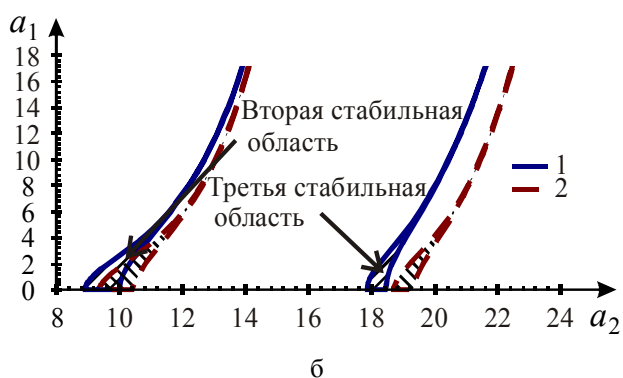
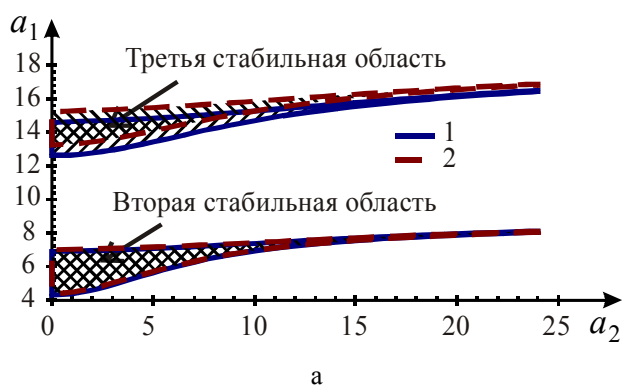


Рисунок 4 – Стабильные области диаграммы стабильности при двух значениях относительных длительностей фронта ВЧ напряжения «ЕС-сигнал» с $N = 4$ и $v_0 = k = 1$

а – стабильные области, образующие диаграмму по r координате; б – стабильные области, образующие диаграмму по z координате; 1 – $\Delta t_i = 0,005$; 2 – $\Delta t_i = 0,05$

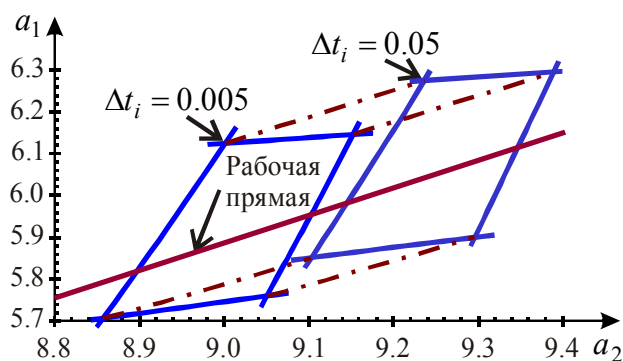


Рисунок 5 – Смещение зоны 1-2 диаграммы стабильности при питании ГМС типа ТЛ ВЧ напряжением «ЕС-сигнал» с $N = 6$ и $v_0 = k = 1$ и изменении Δt_i от $0,005 T_0$ до $0,05 T_0$

Были проведены расчёты, в результате которых были получены значения параметров периода ВЧ напряжения «ЕС-сигнал», а именно

$N = 6$ и $\nu_0 = k = 1$, при использовании которого высшая зона 1-2 смещается вдоль рабочей прямой, проведённой через её середину, при изменении длительностей фронтов импульсов в пределах $0,005-0,05 T_0$. На рисунке 5 показано как смещается зона 1-2 диаграммы стабильности при питании ГМС типа ТЛ ВЧ напряжением «ЕС-сигнал» с $N = 6$ и $\nu_0 = k = 1$.

Заключение. В работе проведён анализ влияния изменения относительных длительностей фронтов импульсов ВЧ напряжения «ЕС-сигнал» на конфигурацию совмещённой диаграммы стабильности. В результате определены параметры периода ВЧ напряжения «ЕС-сигнал», которые дают возможность выбранной зоне 1-2 при изменении относительной длительности фронтов импульсов в пределах $0,005-0,05 T_0$ сдвигаться вдоль рабочей прямой, проведённой через её середину, что увеличивает диапазон анализируемых масс.

Библиографический список

1. Колотилин Б.И., Брыков А.В., Буробин М.А. Режимы работы гиперболоидного масс-спектрометра типа трехмерной ловушки при изменении длительностей импульсов питающего высокочастотного напряжения «ЕС-сигнал» / Вестник РГРТУ. №2 (выпуск 28). Рязань, 2009. С. 78-82.

2. Малютин А.Е. Влияние длительности фронтов питающего импульсного напряжения на параметры масс-спектрометра типа ионной ловушки / Научное приборостроение: межвуз. сб. научн. трудов. РГРТА. Рязань, 1994.

3. Колотилин Б.И., Мамонтов Е.В., Весёлкин Н.В., Брыков А.В., Шеретов Э.П. Генератор высокой частоты квадрупольного фильтра масс для космических исследований / Научное приборостроение: межвуз. сб. научн. трудов. Рязань, 1997. С. 130 – 139.

4. Sheretov E.P., Kolotilin B.I., Veselkin N.V., Brykov A.V., Fedosov E.V.. Opportunities for optimization of the rf signal applied to electrodes of quadrupole mass spectrometers. Part II. EC-signals. Int. Journal of Mass Spectrometry 198, 2000, P. 97 – 111.

УДК 621.391

С.Н. Бузыкканов

АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СКАНИРОВАННОГО ТЕКСТА В ВЕСОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ СОБОЛЕВА

Обоснован алгоритм низкочастотной фильтрации изображений в весовом пространстве Соболева W_2^1 . Предложено применение данного алгоритма для обработки плохо отсканированного изображения в весовом пространстве Соболева W_2^1 , что позволяет повысить качество и разборчивость текста на 4 балла по десятибалльной шкале. Обоснован критерий выбора весового коэффициента α для построения автоматизированных систем обработки результатов сканирования.

Ключевые слова: низкочастотная фильтрация функции, весовое пространство Соболева W_2^1 , цифровая обработка изображений.

Введение. Одним из самых распространённых современных методов обработки изображений является пространственная фильтрация [1, 2]. При этом по умолчанию подразумевается, что обработка производится в пространстве L_2 , когда ограничения накладываются только на энергию сигнала.

Однако, как было показано в [3...7], более естественным для радиотехнических сигналов является представление в весовом пространстве Соболева (ВПС) W_2^1 , которое накладывает дополнительные ограничения на скорость изменения сигналов, т.е. их производную, и более

соответствует свойствам реализуемых сигналов и устройств обработки, для которых выполняются следующие условия:

$$\lim_{x \rightarrow \pm\infty} h(x) = 0, \quad \lim_{x \rightarrow \pm\infty} f(x) = 0, \\ \lim_{x \rightarrow \pm\infty} h'(x) = 0, \quad \lim_{x \rightarrow \pm\infty} f'(x) = 0, \quad (1)$$

где $f(x)$ - обрабатываемый сигнал, $f'(x)$ - его производная, $h(x)$ и $h'(x)$ - импульсная характеристика фильтра и ее производная соответственно.

В связи этим представляет интерес рассмотрение алгоритмов фильтрации изображений

в весовом пространстве Соболева W_2^1 .

Цель работы. Разработка алгоритмов фильтрации изображений в весовом пространстве Соболева W_2^1 и исследование их свойств.

Теоретические исследования. По примеру аналоговой техники под цифровой фильтрацией сигнала подразумевается свертка сигнала с импульсной характеристикой фильтра:

$$f_{\text{вых}}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f_{\text{вх}}(x)h(t-x)dx = \langle f_{\text{вх}}(x), h(t-x) \rangle_L. \quad (2)$$

Проведем данную операцию в ВПС W_2^1 [3]:

$$f_{\text{вых}}(t) = \langle f_{\text{вх}}(x), h(t-x) \rangle_W = (1-\alpha) \int_{-\infty}^{\infty} f_{\text{вх}}(x)h(t-x)dx + \alpha \int_{-\infty}^{\infty} f_{\text{вх}}'(x)h'(t-x)dx, \quad (3)$$

где α -параметр ВПС [3]. В работах [3...7] доказано, что для аналоговых сигналов спектр в ВПС и спектр в пространстве $L_2 \forall \alpha \in [0,1)$ совпадают. Пользуясь математическими соотношениями, запишем для ВПС:

$$f_{\text{вых}}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t-x)((1-\alpha)f_{\text{вх}}(x) - \alpha f_{\text{вх}}''(x))dx + \alpha f_{\text{вх}}'(x)h(t-x)|_{x=-\infty}^{\infty} = \int_{-\infty}^{\infty} f_{\text{вх}}(x)((1-\alpha)h(t-x) - \alpha h''(t-x))dx + \alpha f_{\text{вх}}(x)h'(t-x)|_{x=-\infty}^{\infty}. \quad (4)$$

При выполнении одного из условий (1), которые всегда выполняются для реальных сигналов, вторым слагаемым в правой части выражения (4) можно пренебречь. Таким образом, выражение для интеграла свертки при операции фильтрации в ВПС W_2^1 существенно отличается от аналогичного выражения в пространстве L_2 . В спектральной области выражение (4) принимает вид:

$$F_{\text{вых}}(\omega) = (1-\alpha + \alpha\omega^2)F_{\text{вх}}(\omega)H(\omega), \quad (5)$$

где $F_{\text{вых}}(\omega)$, $F_{\text{вх}}(\omega)$ - спектр сигнала на выходе и входе фильтра соответственно, $H(\omega)$ - частотная характеристика фильтра. Как видно из выражения (5), фильтрация в ВПС сопровождается коррекцией высокочастотной части спектра, что аналогично фильтрации с подъемом высоких частот в пространстве L_2 , являющейся обоб-

щением метода нерезкого маскирования [8]. Следует отметить, что в данном случае характеристики фильтров математически обоснованы, а не следуют из эмпирических заключений. Для двумерного случая выражения (3) и (5) соответственно принимают вид:

$$f_{\text{вых}}(t_1, t_2) = (1-\alpha) \iint_{\infty} f_{\text{вх}}(x_1, x_2)h(t_1-x_1, t_2-x_2)dx_1dx_2 + \alpha \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f_{\text{вх}}(x_1, x_2)h(t_1-x_1, t_2-x_2)}{dx_1^2} dx_1dx_2 + \alpha \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f_{\text{вх}}(x_1, x_2)h(t_1-x_1, t_2-x_2)}{dx_2^2} dx_1dx_2, \quad (6)$$

$$F_{\text{вых}}(\omega_1, \omega_2) = (1-\alpha + \alpha\omega_1^2 + \alpha\omega_2^2) \times F_{\text{вх}}(\omega_1, \omega_2)H(\omega_1, \omega_2). \quad (7)$$

Одним из наиболее часто применяемых [8] приближений низкочастотного фильтра является фильтр Баттерворта, описываемый выражением:

$$H(\omega_1, \omega_2) = \frac{1}{1 + [D(\omega_1, \omega_2)/D_0]^{2n}}, \quad (8)$$

где $D(\omega_1, \omega_2) = \sqrt{(\omega_1 - M/2)^2 + (\omega_2 - N/2)^2}$, $M \times N$ - размер изображения, D_0 - частота среза, n - порядок фильтра. Частотные характеристики низкочастотных фильтров для ВПС при разных значениях параметра α приведены на рисунке 1. Из анализа рисунка 1 видно, что фильтрация в ВПС приводит к небольшому расширению полосы пропускания фильтра, при этом частотные характеристики фильтров имеют большую скорость спада и провал в центральной части спектра по сравнению с аналогичными характеристиками в пространстве L_2 .

Таким образом, применение математического аппарата ВПС W_2^1 приводит к существенной модификации низкочастотных фильтров. Исследуем влияние данной модификации на результаты обработки изображения.

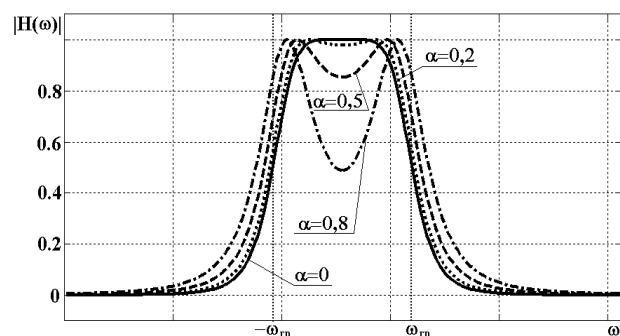


Рисунок 1 – Частотные характеристики низкочастотных фильтров в ВПС для разных значений α

Экспериментальные исследования. Рассмотрим применение разработанного алгоритма низкочастотной фильтрации для обработки изображения, полученного при сканировании текста с недостаточным разрешением и представленного на рисунке 2.

A housing is placed around the two separate axles. The housing provides some support for the axle shafts. The housing also acts as a container for all of the differential components. The differential housing rotates with the bevel gear.

Then, a gear is added to the end of each axle. These gears are generally called side gears or output gears. The side gears rotate with the axles. The side gears are not connected to the differential housing.

Рисунок 2 – Исходное изображение

На рисунке 3 представлен результат фильтрации исходного изображения в пространстве L_2 .

A housing is placed around the two separate axles. The housing provides some support for the axle shafts. The housing also acts as a container for all of the differential components. The differential housing rotates with the bevel gear.

Then, a gear is added to the end of each axle. These gears are generally called side gears or output gears. The side gears rotate with the axles. The side gears are not connected to the differential housing.

Рисунок 3 – Результат низкочастотной фильтрации тестового изображения в пространстве L_2

Как видно из анализа рисунка 3, низкочастотная фильтрация в пространстве L_2 не позволила существенно повысить качество изображения. На рисунке 4 представлен результат низкочастотной фильтрации в ВПС W_2^1 при значениях $\alpha = 0,4; 0,41; 0,42; 0,43$ соответственно. Как видно из представленного рисунка, при возрастании значения коэффициента α качество изображения заметно увеличивается. Однако при слишком большом значении α происходит резкое ухудшение изображения вплоть до его инверсии, что легко идентифицируется при автоматической обработке и может служить хорошим критерием при выборе значения коэффициента α .

Выводы. Рассмотрены математические основы фильтрации сигналов и изображений в ВПС W_2^1 . При этом существенно меняется форма фильтрующих функций, т.к. происходит подъем высокочастотных составляющих спектра. Приведен пример практического применения предложенного алгоритма фильтрации для

повышения качества изображения, полученного при недостаточном разрешении сканера. По результатам экспертной оценки, низкочастотная фильтрация в ВПС позволила повысить качество изображения на 4 балла по десятибалльной шкале. В ходе исследований был определен критерий выбора оптимального значения коэффициента α для автоматических систем повышения качества изображения.

A housing is placed around the two separate axles. The housing provides some support for the axle shafts. The housing also acts as a container for all of the differential components. The differential housing rotates with the bevel gear.

Then, a gear is added to the end of each axle. These gears are generally called side gears or output gears. The side gears rotate with the axles. The side gears are not connected to the differential housing.

A housing is placed around the two separate axles. The housing provides some support for the axle shafts. The housing also acts as a container for all of the differential components. The differential housing rotates with the bevel gear.

Then, a gear is added to the end of each axle. These gears are generally called side gears or output gears. The side gears rotate with the axles. The side gears are not connected to the differential housing.

A housing is placed around the two separate axles. The housing provides some support for the axle shafts. The housing also acts as a container for all of the differential components. The differential housing rotates with the bevel gear.

Then, a gear is added to the end of each axle. These gears are generally called side gears or output gears. The side gears rotate with the axles. The side gears are not connected to the differential housing.

A housing is placed around the two separate axles. The housing provides some support for the axle shafts. The housing also acts as a container for all of the differential components. The differential housing rotates with the bevel gear.

Then, a gear is added to the end of each axle. These gears are generally called side gears or output gears. The side gears rotate with the axles. The side gears are not connected to the differential housing.

Рисунок 4 – Результат низкочастотной фильтрации тестового изображения в пространстве W_2^1 при различных значениях коэффициента α

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 - 2013 годы (ГК 02.740.11.0470, ГК 16.740.11.0269, ГК 14.740.11.0326).

Библиографический список

1. Голд Б., Рэйдер Ч. Цифровая обработка сигналов. М.: Сов. радио, 1973. 367 с.
2. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. М.: МИР, 1978. 848 с.
3. Кириллов С.Н., Бузыкканов С.Н. Алгоритм дискретного спектрального анализа сигналов в модифицированном пространстве Соболева // Автометрия. 2003. №1. С. 88-94.
4. Кириллов С.Н., Бузыкканов С.Н. Оценка спектральной плотности мощности сигналов в модифицированном пространстве Соболева // Радиоэлектроника. 2002. 45, № 12. С.46-51. (Известия высших учебных заведений).
5. Кириллов С.Н., Бузыкканов С.Н. Алгоритм восстановления аналогового сигнала в модифицированном пространстве Соболева // Автометрия. 2005. 41, № 2. С. 75-80.
6. Бузыкканов С.Н. Задача редукции к идеальному прибору в модифицированном пространстве Соболева // Вестник РГРТА. вып. N.29. 2009. С. 110-113.
7. Бузыкканов С.Н., Кириллов С.Н. Вычисление спектра сигналов в модифицированном пространстве Соболева на основе быстрого преобразования Фурье // Автометрия. 2006. 42, № 4. С. 48-56.
8. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.

УДК 49.33.29

Р.В. Иваненко, Л.В. Воробьев, Р.Р. Иваненко**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ УЗЛА В СЕТЯХ С ПАКЕТНОЙ КОММУТАЦИЕЙ**

Получен алгоритм управления объемом памяти буферного накопителя, обеспечивающий оптимальную пропускную способность узла (минимально возможную величину блокировки) при данной загрузке, объеме накопителя и пропускных способностях исходящих линий, а также требуемую величину задержки пакетов в узле. Применение разработанного алгоритма управления увеличивает пропускную способность на 30 % по сравнению с коммутацией каналов и на 12 % по сравнению с коммутацией пакетов.

Ключевые слова: алгоритм управления, буферный накопитель, качество передачи, пакетная коммутация, пропускная способность, имитационное моделирование, распределение ресурса памяти, узел коммутации.

Введение. Проблема совместной передачи речи и данных в общем цифровом потоке является актуальной в течение многих лет.

В настоящее время для оценки эффективности передачи информации в пакетном режиме используются следующие показатели: задержка в доставке пакета (промежуток времени, требующийся для передачи пакета через сеть); джиттер (вариация задержки), или промежуток времени между двумя пакетами, следующими друг за другом; вероятность потери (блокировки) пакетов и т.д.

Существует множество способов повышения параметров работы сети с пакетной коммутацией, которые в основном решаются на программном уровне.

Цель работы – синтез алгоритма управления объемом памяти буферного накопителя, позволяющего повысить пропускную способность узла коммутации пакетов.

Теоретическая часть. Наиболее распространенным механизмом обслуживания очередей в

маршрутизаторах и коммутаторах современных вычислительных сетей является ставший уже традиционным механизм "первым пришел, первым вышел" (*first-in, first-out – FIFO*). Алгоритм *FIFO* относится к так называемым неравноправным схемам обслуживания очередей, так как при его использовании одни потоки могут доминировать над другими и захватывать несправедливо большую часть полосы пропускания. В связи с этим применяются равноправные схемы обслуживания, предусматривающие выделение каждому потоку отдельного буфера и равномерное разделение полосы пропускания между разными очередями.

Несмотря на простоту реализации, для механизма *FIFO* характерно несколько фундаментальных проблем, затрудняющих пропускную способность сети. Так, механизм *FIFO* не предусматривает приоритетной обработки чувствительного к задержке трафика путем его перемещения во главу очереди. Весь трафик обрабатывается одинаково без учета принадлежности

потоков к различным классам с разными требованиями к обслуживанию.

Минимальное требование, предъявляемое к алгоритму обслуживания очередей, – способность дифференцировать и определять требования к обработке различных пакетов. В соответствии с этими параметрами алгоритм обслуживания должен планировать порядок передачи поставленных в очередь пакетов. Частота обслуживания пакетов одного и того же потока трафика определяет выделенную этому потоку полосу пропускания.

В настоящее время появилось много работ [1-3], посвященных аналитическим методам исследования параметров работы сети с пакетной коммутацией, в них для описания сети пакетной коммутации предлагается использовать математические модели, в которых каждый узел сети рассматривается как система массового обслуживания с ограниченным числом мест ожидания и определенной структурой. Подробно исследована модель, основанная на предположении, что каждый узел коммутации пакетов имеет общий накопитель (буферный пул в оперативной памяти) емкости N , ячейки (буферы) которого распределяются случайным образом по очередям к узловому процессору и исходящим линиям. При этом для упрощения исследований считается, что каждый буфер накопителя рассчитан на хранение одного пакета, длина которого не превосходит некоторой фиксированной величины, а также все сообщения однопакетные, поэтому не предусматривается сборка — разборка сообщения.

Анализ пропускной способности узла коммутации пакетов, проведенный с использованием описанной модели, показал, что блокировка устройства незначительна, если интенсивность суммарного входящего потока ниже некоторого порога. Как только этот порог превышен, наступает насыщенность и резко возрастает вероятность блокировки узла, при этом пропускная способность узла с общим накопителем может снизиться до некоторого предела. Это случается, если интенсивности отдельных входящих потоков изменяются неравномерно и возникает несоответствие между интенсивностью входящего потока и интенсивностью обслуживания на соответствующей исходящей линии. В этом случае наиболее интенсивный поток будет занимать большую часть емкости накопителя, перегружая соответствующую входящую линию и препятствуя приему пакетов к другим исходящим линиям.

Данное обстоятельство говорит о необходимости введения локального управления объемом

накопителя узла коммутации пакетов. Это позволит регулировать потоки, поступающие на исходящие линии, так, чтобы оптимизировать пропускную способность узла при изменении загрузки отдельных его направлений. В данном случае управление объемом накопителя узла заключается в перераспределении буферов между исходящими линиями при изменении их загрузки, оптимизирующем пропускную способность узла в создавшейся ситуации.

При большой перегрузке отдельных исходящих направлений узла наиболее близкой к оптимальной по пропускной способности является структура полного разделения объема накопителя по очередям к исходящим линиям в соответствии с загрузкой этих линий и их пропускной способности.

Задача управления объемом накопителя, оптимизирующего пропускную способность узла при изменении его загрузки, будет в этом случае включать две подзадачи.

1. Определение оптимальных величин ограничений на длины очередей к исходящим линиям, которые обеспечат максимально возможную пропускную способность (минимальную величину блокировки) узла при данной загрузке исходящих линий, емкости накопителя и пропускных способностях исходящих линий.

2. Определение величины ограничений на доступ пакетов к определенным исходящим линиям, которые обеспечат оптимальную величину блокировки узла в создавшейся ситуации.

Для описания узла коммутации пакетов использовалась математическая модель, изображенная на рисунке 1, где μ - интенсивность обслуживания пакетов, λ - постоянная интенсивность каждого из потоков, x - ограничение на длину очереди к l -й линии.

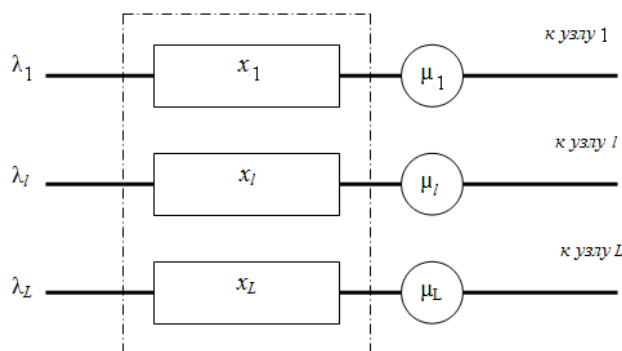


Рисунок 1

Оптимизацию будем проводить при условии, что выполняются следующие допущения:

– быстродействие узлового процессора велико по сравнению с пропускными способностями исходящих линий, т. е. $\mu_0 = \infty$, поэтому буферы

накопителя распределяются только по очередям к исходящим линиям;

– распределение входящего потока по исходящим линиям фиксировано, т. е. известна загрузка p_l , предназначенная для l -й линии. Исходя из этого интенсивность l -го потока определяется как: $\lambda_l = \lambda_{\text{вх}} p_l$, где $l=1..L$ (L - число исходящих линий), p_l - вероятность загрузки l -й линии;

– поступающие на обслуживание потоки являются пуассоновскими;

– пакеты на исходящих линиях обслуживаются в порядке поступления;

– при обслуживании пакета l -й исходящей линии выполняются следующего условия: пакет передается при наличии свободных путей установления соединения, если же свободные пути отсутствуют, то пакет теряется и в дальнейшем не оказывает на систему никакого воздействия.

С учетом всех этих допущений рассматриваемая задача оптимизации пропускной способности узла $\Phi(x)$ сводится к задаче нелинейного программирования, в которой необходимо минимизировать вероятность блокировки узла

$$\min \Phi(x) = \left\{ \sum_{l=1}^L p_l B_l = \sum_{l=1}^L p_l \frac{p_l^x (1-p_l)}{(1-p_l^{x+1})} \right\}, \quad (1)$$

где L – число исходящих линий; B - вероятность блокировки узла; x – ограничение на длину очереди к l -й линии.

Экспериментальная часть. Так как целевая функция выпуклая, а ограничения - линейные, то данная оптимизация может быть представлена в виде задачи выпуклого программирования. Исходя из [4-6], для синтеза можно применить метод штрафных функций специальной структуры, основанный на использовании множителей Лагранжа.

Проверка корректности полученных результатов осуществлялась с помощью имитационного моделирования [7,8].

Исходя из ранее сделанных рассуждений, алгоритм управления объемом памяти буферного накопителя, позволяющий повысить пропускную способность узла коммутации можно представить в виде блок – схемы, изображенной на рисунке 2.

В соответствии с данной блок – схемой при управлении объемом накопителя предполагается выполнение следующих операций.

1 Определение ограничений на длину очереди l -й линии.

2 Определение числа исходящих линий L при заданных: интенсивности λ_l и вероятности

загрузки l -й линии p_l .

3 Определение величины задержки пакета для каждого исходящего направления и сравнение ее с допустимой величиной. При этом если канал свободен, перейти к следующему направлению. При отсутствии такого ограничить доступ пакетов к этому направлению.

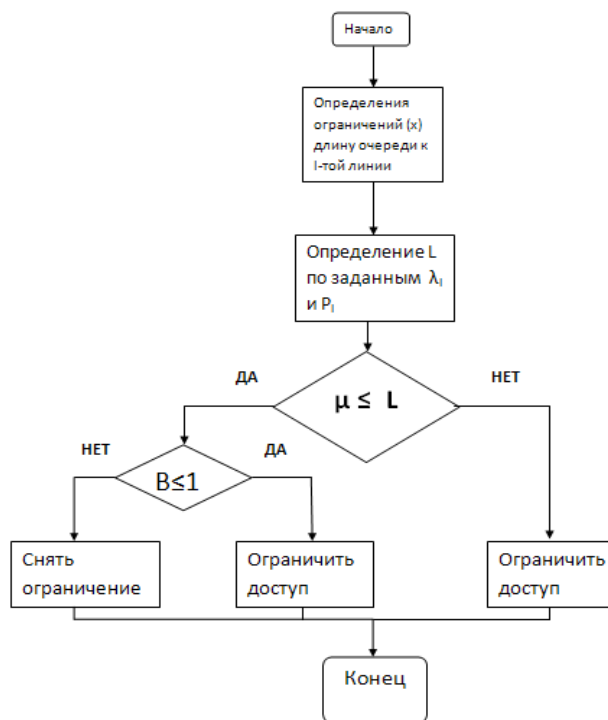


Рисунок 2

Выводы. Таким образом, если характер потоков пакетов, поступающих в узел на обслуживание такой, что возможны значительные изменения загрузки отдельных направлений узла, целесообразно применение предложенного алгоритма, который обеспечивает корректировку распределения объема буферного накопителя по очередям к исходящим линиям, требуемую величину задержки пакетов в узле, а также оптимальную пропускную способность узла (минимально возможную величину блокировки).

Для проверки эффективности предложенного алгоритма были выбраны 4 группы источников нагрузки с определенными параметрами, для которых осуществляется распределение ресурса памяти. Результаты имитационного моделирования показали, что при использовании предложенного алгоритма пропускная способность увеличивается на 30 % по сравнению с коммутацией каналов, и на 12 % по сравнению с коммутацией пакетов.

Библиографический список

1. Гордиевский В.Л. Анатомия пакетной передачи речи // Сети и системы связи. 2006. №12. – С.74 – 79.
2. Полунин А. Пакетная телефония: иллюзии и

реальность // Сети и системы связи. 2000. №2. – С.24 – 27.

3. Штейн Я., Шварц Э. Эволюционный подход к передаче речи по IP-сетям // Сети и системы связи. 2004. №9. – С. 96 – 101.

4. Химмельбау Д. Прикладное нелинейное программирование // под ред. М.Л.Быховского. – М.: Мир. 1988. – 534 с.

5. Баширин Г.П., Богуславский Л.Б., Самуйлов К.Е. О методах расчета пропускной способности сетей связи ЭВМ // Электросвязь. Итоги науки и

техники. Т.13.М.:ВИНИТИ. 1983. – С.32 – 106.

6. Баширин Г.П., Толмачев А.Л. Теория сетей массового обслуживания и ее приложения к анализу информационно – вычислительных систем «Теория вероятностей» // Итоги науки и техники. Т.21. М.: ВИНИТИ.1983. – С.3 – 119.

7. Шварц М. Сети ЭВМ: Анализ и проектирование // М.: Радио и связь. 1981. – 336 с.

8. Лазарев В.Г. Сетевые протоколы и управление в распределительных вычислительных системах // М.: Наука. 1996. – 189 с.

УДК 381.322

И.А. Немченко, Д.Б. Николаев

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ КАЧЕСТВЕННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТОХАСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Проведен анализ качественной составляющей информации в аспекте ее ценности для злоумышленника. На базе проведенного анализа предложены механизмы обеспечения безопасности и целостности данных на основе использование стохастического преобразования.

Ключевые слова: имитобезопасность, качественная характеристика, математическая модель, стохастическое преобразование.

Введение. Вопросы обеспечения безопасности информации определяют развитие любой отрасли человеческой деятельности. Важным аспектом является предотвращение разглашения информации конфиденциального характера во время ее хранения, обработки или передачи. Надежным методом обеспечения безопасности информации можно считать преобразование данных с использованием определенных алгоритмов и последующую циркуляцию этих данных в неявном виде (с их восстановлением при необходимости). При построении алгоритмов подобного рода учитывается количественная оценка циркулирующей информации: длины передаваемых сообщений, их количество, скорость.

Цель работы – исследование возможности применения качественных характеристик информации для построения математических моделей систем (алгоритмов) обеспечения конфиденциальности и имитобезопасности.

При рассмотрении качественной оценки информационной составляющей необходимо отметить, что количество информации (содержательной) невозможно рассматривать без учета ее полезности (ценности) и своевременности для пользователя, поэтому не менее важным аспектом является обеспечение достоверности и

подлинности данных. Изменение вида и смысла данных может происходить из-за злоумышленных действий (дезинформация) или из-за воздействия помех, но в результате изменяется качественная составляющая информации, она становится менее ценной, менее своевременной и т.д. [1,2]. Применение качественных характеристик для описания позволяет объективно учитывать полезность получаемой информации, так как одинаковая информация может неоднозначно трактоваться для разных пользователей, различных ситуаций и собственных характеристик (информация кратковременного действия, долговременная информация и т.д.).

Анализ ценностного аспекта информационной составляющей. Для анализа ценностного статуса необходимо рассматривать пользователя и его интересы как с субъективной точки зрения, учитывающей подготовку человека к восприятию и использованию информации определенного вида (если субъект не знает ценность этого сообщения равна нулю), так и с объективной точки зрения, учитывающей значимость самого сообщения.

В качестве математической модели, учитывающей ценностную составляющую информации [3,4], следует использовать трехосновную

параметрическую функцию вида:

$$A = \langle X, K, Y, f \rangle, \quad (1)$$

где X, Y, K – конечные множества, состоящие из исходной, преобразованной информации и конфиденциальных параметров преобразования, f – функция преобразования, сюръективное отображение декартова произведения $X \times K$ в Y , т.е. $f: X \times K \rightarrow Y$.

В данной функции ценностная составляющая должна учитываться при определении любого элемента каждого множества. Например, при компрометации элемента $y \in Y$ можно определить множество $O(y) = \bigcup_{x \in X(y)} O(x)$ и выбрать

$o^* \in O(y)$ в предположении $o^* = f(y)$. В этом случае ценность информации y будет определяться как

$$S(y) = C_{\alpha\beta} \left(\frac{1}{|O(y)|} - \frac{1}{|O|} \right), \quad (2)$$

где $C_{\alpha\beta} = \alpha - \beta$, при этом α – полученная прибыль в случае удачи ($o^* = f(y)$), β – потери в случае неудачи ($o^* \neq f(y)$). В надежной системе преобразования информации, не допускающей ее компрометации, $S(y) = 0$.

Следует отметить, что на параметры α и β влияют внешние факторы, вызывающие компрометацию $y \in Y$, а не структура, формирующая x и y .

Подобным образом можно учесть ценностную составляющую информации в любом элементе множеств X, Y, K .

С другой стороны, обеспечение имитобезопасности определяется возможностью успешного навязывания (дезинформация или воздействие помех) преобразованной информации $y \in Y$, соответствующей исходным данным $x \in X$. Тогда с учетом выбранных величин оценки α, β эффективность навязывания информации описывается величиной:

$$\begin{aligned} Ef(x) &= If(x) C_{\alpha\beta} \left(\frac{1}{|O(x)|} - \frac{1}{|O|} \right) - (1 - If(x)) \frac{C_{\alpha\beta}}{|O|} = \\ &= C_{\alpha\beta} \left(\frac{1}{|O(x)|} - \frac{1}{|O|} \right), x \in X, \end{aligned} \quad (3)$$

где $If(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x \in X^+ \\ 0, & \text{если } x \notin X^+, (x \in X^-), x \in X. \end{cases}$

Подобная модель допускает использование аппарата восстановления данных в следующем виде: $y \in Y$ – исходное преобразованное сообщение, соответствующее исходным данным $x \in X$, $y' \in Y$ – измененное преобразованное сообщение, соответствующее навязываемым данным $x' \in X$, тогда потери от модификации

данных могут быть оценены как

$$\Delta L = V(y) - V_L(y'/y), \quad (4)$$

где $V(y)$ – эффективность применения информации, принятой без модификации, $V_L(y'/y) =$

$$= \frac{C_{\alpha\beta}}{|O(x)|} + \beta - \text{эффективность применения моди-$$

фицированной информации.

Соответственно при использовании алгоритмов восстановления информации выражение (4) будет модифицировано следующим образом

$$\Delta L = V(y) - V_L(y'/y) + V_{Kv}(y'/y), \quad (5)$$

где $V_{Kv}(y'/y) = \frac{C_\gamma}{|O(y)|} + K_p$ – эффективность

восстановления модифицированной информации, C_γ – коэффициент учитывающий эффективность алгоритма восстановления $y' \rightarrow y$, K_p – поправочный коэффициент, учитывающий особенности формирования, преобразования, хранения, обработки информации.

Следует отметить, что в общем случае потери от навязывания не зависят от используемого вида преобразования, а зависят от эффективности системы (алгоритма) обнаружения и предотвращения модификации данных.

Принимая во внимание все вышесказанное, рассмотрение качественных характеристик информации необходимо проводить как составную часть процессов, обеспечивающих безопасность и целостность данных. Необходимо отметить, что механизмы обеспечения безопасности и целостности существенно отличаются как в теоретических, так и в практических постулатах. Например, устранение избыточности является неотъемлемым условием, используемым в алгоритмах преобразования данных для обеспечения безопасности информации, однако для надежной передачи, хранения и обработки данных с целью устранения их нежелательной модификации и возможности восстановления необходимо вводить избыточность в сообщения. Наличие подобных противоречий приводит к необходимости одновременного существования двух каналов (систем) обеспечения безопасности и целостности информации. Выходом из сложившейся ситуации является применение стохастических методов обеспечения безопасности и целостности информации, которые объединяют в себе оба этих механизма.

Механизм обеспечения безопасности и целостности данных на основе использование стохастического преобразования. Применение стохастических методов обеспечения безопасности основано на использовании помехоустойчивых кодов. Формируемый помехоустойчивый

код содержит операции введения избыточности при кодировании и операции принятия решения о наличии модификации информации при декодировании, объединенные с операциями прямого и обратного стохастического преобразования.

Стохастическое преобразование представляет собой взаимосвязанную совокупность операций $ST(s, \gamma_k)$ над исходной последовательностью s длиной l и квазислучайной последовательностью γ_k длиной l или $2l$, имеющую обратную $ST^{-1}(e, \gamma_k)$ и обладающую свойствами симметричного канала [5, 8], т.е. после обратного преобразования получается выражение

$$\begin{aligned} ST^{-1}(ST(s, \gamma_k) + u, \gamma_k) &= s + u, \\ \text{при } u = 0 \quad P(u' = 0) &= 1, \\ \text{при } u \neq 0 \quad P(u' = 0) &= 0, \\ P(u' \neq 0) &= 0, \\ P(u_j \neq 0) &= (2^l - 1)^{-1} \text{ для } j = \overline{0, (2^l - 1)}, \end{aligned} \quad (6)$$

где u и u' – исходный и преобразованный векторы ошибки, т.е. сумма по модулю 2 между искажаемым и искаженным вектором.

Для обнаружения ошибок в данной системе (алгоритме) используется циклический (n, k) -код.

Искажение последовательности длиной $l = n$ при передаче по каналу связи вектором ошибки u в соответствии с некоторым распределением ошибок, описываемым вероятностями $P(e_i)$ для каждой $2^n - 1$ совокупности образцов ошибки u_i , причем преобразованные векторы ошибки будут описываться вероятностями

$$P(e'_i) = \begin{cases} 0 & \text{при } u = 0 \text{ для} \\ 1 / (2^n - 1) & \text{при } u \neq 0 \text{ для} \end{cases} \quad \begin{aligned} i \in [1, 2^n - 1] \quad P(u_0) &= 1, \\ i \in [1, 2^n - 1] \quad P(u_0) &= 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Вероятность не обнаружения ошибки будет определяться ситуацией, когда после передачи некоторого кодового слова E_i циклического кода в декодер поступает комбинация E_j , также являющаяся одним из кодовых слов, общее число которых равно 2^k . Такое событие происходит в том случае, когда вектор ошибки e' является кодовым словом этого же кода. Так как число ненулевых кодовых слов в множестве $\{E\}$ равно $2^k - 1$, а число равновероятных ненулевых векторов ошибки e' равно $2^n - 1$, то после искажения необнаруженная ошибка происходит в $2^k - 1$ случаях из $2^n - 1$, т.е. условная вероятность необнаруженной ошибки в искаженном блоке равна

$$P(e|u \neq 0) = (2^k - 1) / (2^n - 1), \quad (8)$$

независимо от характера искажения, т.е. распределения e_i .

Причем вероятность необнаруженной ошибки не зависит от свойств (n, k) -кода, а зависит только от числа избыточных символов [7, 9].

Заключение. Обобщая все вышесказанное, можно выделить основные аспекты применения стохастического преобразования для описания качественных характеристик информации:

- использование стохастического преобразования не уменьшает стойкость безопасного преобразования за счет выполнения двух основных постулатов: равновероятности преобразованных сообщений и сопоставимости длин сообщения и конфиденциальных параметров, что не дает возможности использования полного перебора по всему пространству конфиденциальных параметров;

- использование стохастического преобразования позволяет обнаруживать ошибки и модификации информации, что позволяет сохранить качественные характеристики циркулирующей в системе информации и позволяет провести количественную оценку качественных параметров информации, таких как своевременность и ценность.

Библиографический список

1. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. – М.: ИЛ, 1963.
2. Мазур М. «Качественная теория информации». – М.: Мир, 1974.
3. Стратонович Р.Л. О ценности информации. – Изв. АН СССР, Технич. кибернетика, № 5. 1965.
4. Гавурин М.К. «О ценности информации». – Вестник ЛГУ, Сер. матем., мех. и астрон., Вып. 4. № 19, 1963.
5. Жуков И.Ю., Иванов М.А., Осмоловский С.А. Принципы построения генераторов псевдослучайных кодов, используемых при построении стойких криптоалгоритмов // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2001. №1. С. 34-41.
6. Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролируемых ошибки. – М.: Мир, 1971.
7. Вольфовиц Дж. Теоремы кодирования теории информации. – М.: Мир, 1987.
8. Осмоловский С.А. О реализации стохастических кодов, исправляющих ошибки // Техника средств связи. Сер. ТПС. 1984. Вып. 6. С. 86-96.
9. Осмоловский С.А. О возможной реализации абсолютной секретности в постановке Шеннона // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2001. №1. С.15-22.