УДК 621.396.96:621.391.828

В. В. Скачков[1], д.т.н., **А. Н. Ефимчиков**[1], к.т.н., **В. И. Павлович**[2], **С. С. Ковалишин**[3]

[1] *Одесская государственная академия технического регулирования и качества, г. Одесса*
[2] *Одесский Национальный политехнический университет, г. Одесса*
[3] *Военная академия, г. Одесса*

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГРАДИЕНТНЫХ АЛГОРИТМОВ АДАПТАЦИИ НА КАЧЕСТВО ПОДАВЛЕНИЯ ШУМОВЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Методами динамических множителей и унитарных преобразований исследовано влияние динамических параметров на эффективность подавления активных шумовых излучений на выходе ***N****-мерной адаптивного фильтра информационно-измерительной системы. Установлена аналитическая зависимость коэффициента подавления шумовой помехи от динамических параметров: сходимости и устойчивости градиентного процесса адаптации произвольной размерности. Показано влияние энергетических параметров шумовых излучений, размерности адаптивной системы и параметров цепи адаптивного управления на запас устойчивости и сходимость многомерного градиентного алгоритма адаптации.*

Ключевые слова: *градиентный алгоритм адаптации, многомерный пространственно-временной фильтр, корреляционная матрица шумовых излучений, собственное значение, динамические параметры, устойчивость, сходимость, весовой вектор, коэффициент подавления, коэффициент передачи цепи обратной связи.*

Введение

Постановка проблемы. Совершенствование систем защиты современных информационно-измерительных средств от активных шумовых излучений неразрывно связано с разработкой градиентных пространственно-временных алгоритмов адаптации, практическая реализация которых при современном уровне развития микропроцессорной техники не вызывает больших затруднений [1-3].

Как известно [4, 5], градиентные алгоритмы адаптации относятся к классу рекурсивных алгоритмов, которые обладают существенной зависимостью динамических параметров, таких как время сходимости и устойчивость, от характеристик входных сигналов. В условиях недетерминированых изменений помеховой ситуации и наличия механизмов обратной связи в алгоритмах адаптации, указанные динамические параметры характеризуются повышенной нестабильностью, что на практике может привести:

– во-первых, к существенному снижению качества подавления шумовых излучений адаптивным пространственно-временным фильтром;

– во-вторых, к сложности, а нередко, и к невозможности аналитического описания и определения границ устойчивости подобных алгоритмов адаптации.

Исходя из логики обозначенных вопросов существующей проблемы, естественным является поиск относительно простых и наглядных аналитических методов оценки динамических параметров для класса градиентных адаптивных фильтров произвольной размерности.

Анализ исследований и публикаций.

Известные методы оценки динамических параметров градиентных адаптивных пространственно-временных фильтров базируются на вычислении собственных значений корреляционной матрицы наблюдаемых реализаций [1, 3, 5-7]. Исследование динамических параметров по собственным значениям корреляционной матрицы наблюдений, особенно при большой ее размерности $(N \geq 4)$, представляет непростую вычислительную задачу, для решения которой, обычно, используются численные методы или методы статистического моделирования [1, 2, 5]. Кроме того, при систолическом построении многомерных градиентных адаптивных фильтров исследование их динамических параметров по собственным значениям корреляционной матрицы связано с весьма сложными математическими преобразованиями, что в ряде случаев фактически не дает положительных результатов [5, 7].

Проведенный анализ разнообразных источников научной и научно-технической информации указывает, что вопросам разработки различных адаптивных фильтров посвящен целый ряд публикаций, в частности:

– в работах [3, 5, 7] рассмотрено применение методов адаптивного весового суммирования в задачах обнаружения полезного сигнала в недетерминированной помеховой ситуации. Эти методы основаны на оценке градиента критериальной функции и формировании оптимального весового вектора с целью удовлетворения требуемого критерия оптимальности;

– в изданиях [4, 5, 7] отражены особенности прямых алгоритма управления комплексным вектором весовых коэффициентов $\mathbf{W}$, которые базируются на непосредственной оценке элементов корреляционной матрицы шумовых излучений $\mathbf{A}_{\text{п}}$ с последующим её обращением;

– в статьях [6, 8] предложено для повышения эффективности пространственного подавления шумовых помех использовать методы предпроцессорной обработки. В частности, представлены методы ускоренного градиента, сопряженных градиентов с масштабированием, каскадные предпроцессоры с разложением входного процесса на главные компоненты, а также, вариант реализации предпроцессорной обработки путем изменения пространственной структуры приемной антенной решетки.

Невзирая на различную вычислительную сложность, особенности поведения, используемые исходные данные и разнообразные структуры собственных устройств фильтрации, адаптивный алгоритм предназначен минимизировать по среднеквадратическому критерию ошибку приближения ε результата фильтрации к некоторому опорному (эталонному) сигналу $U_{\text{оп}}$:

$$\left\langle \varepsilon^2 \right\rangle = \left\langle U_{\text{оп}}^2 \right\rangle - 2\mathbf{W}^{\text{т}}\mathbf{\Omega} + \mathbf{W}^{\text{т}}\mathbf{A}_{\text{п}}\mathbf{W} \to min, \quad (1)$$

где $\langle * \rangle$ – операция статистического усреднения; $\mathbf{A}_{\text{п}} = \left\langle \mathbf{X}\mathbf{X}^{\text{т}} \right\rangle$ – корреляционная матрица вектора-столбца комплексных амплитуд шумовых излучений $\mathbf{X}$ на входе устройства фильтрации; $\mathbf{\Omega} = \left\langle U_{\text{оп}}\mathbf{X} \right\rangle$ – вектор- столбец взаимных корреляционных функций рассогласования между опорным сигналом $U_{\text{оп}}$ и составляющими вектора входных сигналов $\mathbf{X}$; $\mathbf{W}$ – вектор весовых коэффициентов, оптимизация которых направлена на поиск экстремума (здесь минимизацию) функции рассогласования $f(\varepsilon) = \left\langle \varepsilon^2 \right\rangle$.

Установленный критерий минимума функции рассогласования $f(\varepsilon)$ может быть использован как мера качества функционирования некоторой модели многомерной системы адаптации. Данная функция, как известно [1-5], достигает точки минимума при условии, что её градиент по составляющим весового вектора $\mathbf{W}$ равен

$$\nabla f(\varepsilon) = \mathbf{A}_{\text{п}}\mathbf{W} - \mathbf{\Omega} = \mathbf{0}. \quad (2)$$

Способ управления весовым вектором $\mathbf{W}$ произволен и определяется конкретной прикладной задачей.

Практическая реализация условия (2) предполагает наличие в адаптивной (независимо от ее назначения) системе цепи корреляционной обратной связи [1, 4, 5]. В недетерминированной помеховой ситуации гарантировать устойчивости и сходимость N–мерного алгоритма адаптации с корреляционной обратной связью не представляется возможным.

Поэтому на этапе проектирования адаптивных информационно-измерительных систем целесообразно располагать аналитической зависимостью качества подавления активных шумовых излучений от динамических параметров цепи корреляционной обратной связи.

Цель статьи: исследовать влияние динамических параметров N–мерного градиентного алгоритма адаптации на качество подавления активных шумовых излучений.

Основная часть

С целью исследования динамических параметров многомерного градиентного алгоритма адаптации необходимо представить градиент функции ошибки (2) в форме, приемлемой для практических вычислений. Для этого вместо градиентной функции (2) вычисляется его оценка $\hat{\nabla} f(\varepsilon)$, среднее значение которой, ввиду ее несмещённости, совпадает с истинной величиной градиента. В таком случае закон функционирования цепи корреляционной обратной связи адаптивного фильтра для нулевых начальных условий может быть представлен в виде [4]

$$\mathbf{W} = \gamma\Phi(p)\varepsilon\mathbf{X}, \quad (3)$$

где $\Phi(p)$ – функция передачи по Лапласу узкополосного фильтра-интегратора с постоянной времени T; $\varepsilon = U_{\text{ОП}} - \mathbf{W}^{\text{T}}\mathbf{X}$ – ошибка приближения к эталону; γ – крутизна регулировочной характеристики. Узкополосность фильтра- интегратора позволяет считать статистически независимыми процессы изменения весового вектора и флюктуаций комплексных огибающих входных сигналов $\mathbf{X}$.

Для исследования динамических параметров многомерного градиентного адаптивного фильтра представим процесс функционирования цепи управления (3) в форме дифференциального уравнения относительно весового вектора $\mathbf{W}(t)$

$$T\frac{d\mathbf{W}(t)}{dt} + (\mathbf{I} + \gamma\mathbf{A}_{\text{П}})\mathbf{W}(t) = \gamma\mathbf{\Omega}, \qquad (4)$$

где $\mathbf{I}$ – единичная матрица размерности $N \times N$; $\mathbf{W}(t)$ – усреднённое по множеству входных реализаций в каждый момент времени значение весового вектора.

Выражение (4) описывает процесс функционирования цепи корреляционной обратной связи многомерного градиентного адаптивного фильтра в стационарных условиях. При большой размерности матрицы $\mathbf{A}_{\text{П}}$ и отличии её от диагональной, точное решение дифференциального уравнения (4) в аналитическом виде

$$\mathbf{W}_{\text{ОПТ}} = \gamma(\mathbf{I} + \gamma\mathbf{A}_{\text{П}})^{-1}\mathbf{\Omega} \qquad (5)$$

является сложной вычислительной задачей. Для упрощения решения уравнения (4) необходимо преобразовать вектор весовых коэффициентов $\mathbf{W}(t)$ в новую систему координат, состоящую из собственных векторов корреляционной матрицы $\mathbf{A}_{\text{П}}$. В этом случае преобразованные переменные будут независимы и равны

$$\mathbf{Z}(t) = \mathbf{H}^{\text{T}}\mathbf{W}(t), \qquad (6)$$

где $\mathbf{H}$ – матрица невырожденного унитарного преобразования, удовлетворяющая условию $\mathbf{H}^{\text{T}}\mathbf{H} = \mathbf{I}$.

Выполнив унитарное преобразование над системой уравнений (4), получим

$$T\frac{d\mathbf{Z}(t)}{dt} + (\mathbf{I} + \gamma\mathbf{\Lambda}) = \gamma\mathbf{B}, \qquad (7)$$

где $\mathbf{\Lambda} = \mathbf{H}^{\text{T}}\mathbf{A}_{\text{П}}\mathbf{H}$ – диагональная матрица, составленная из собственных значений λ_i корреляционной матрицы $\mathbf{A}_{\text{П}}$; $\mathbf{B} = \mathbf{H}^{\text{T}}\mathbf{\Omega}$ – результат унитарного преобразования вектора $\mathbf{\Omega}$.

Решение дифференциального уравнения (7) имеет следующий вид

$$\mathbf{Z}_{\text{ОПТ}} = \mathbf{H}^{\text{T}}\mathbf{W}_{\text{ОПТ}} = \gamma(\mathbf{I} + \gamma\mathbf{\Lambda})^{-1}\mathbf{B}. \qquad (8)$$

В результате $\mathbf{H}$ – преобразования многосвязная N–мерная система дифференциальных уравнений (4) распадается на систему из N независимых скалярных уравнений с постоянными коэффициентами

$$T\frac{dz_i(t)}{dt} + (1 + \gamma\lambda_i)z_i(t) = \gamma b_i; \quad i \in \overline{1, N}, \qquad (9)$$

где $z_i(t)$ – составляющие вектора $\mathbf{Z}(t)$.

Учитывая, что переходные процессы для каждой составляющей вектора $\mathbf{Z}(t)$ будут независимы, их анализ сводится к рассмотрению поведения произвольной составляющей $z_i(t)$, представленной в дискретной форме

$$z_i(n+1) = z_i(n) - \frac{1 + \gamma\lambda_i}{T \cdot \Delta F}\left[z_i(n) - z_{i\text{ОПТ}}\right], \qquad (10)$$

где n – номер шага адаптации; ΔF - ширина спектра входного процесса; $z_{i\text{ОПТ}}$ – дискретные составляющие весового вектора $\mathbf{Z}_{\text{ОПТ}}$, определяемые из соотношения (8).

Выполнив несколько итераций, можно получить решение уравнения (10) для произвольного шага адаптации, которое соответствует нулевым начальным условиям

$$z_i(n) = z_{i\text{ОПТ}} - z_{i\text{ОПТ}}\left(1 - \frac{1 + \gamma\lambda_i}{T\Delta F}\right)^{n-1}. \qquad (11)$$

Представим решение уравнения процесса адаптации (11) в матричной форме

$$\mathbf{Z}(n) = \mathbf{Z}_{\text{ОПТ}} - \Psi(n)\mathbf{Z}_{\text{ОПТ}}, \qquad (12)$$

где $\Psi(n) = diag\left[\left(1 - \frac{1 + \gamma\lambda_i}{T\Delta F}\right)^{n-1}\right]$ – диагональная матрица размерности $N \times N$, которая при N

невырожденных собственных значениях матрицы $\mathbf{A}_\text{П}$ состоит из коэффициентов, определяющих динамические свойства градиентного адаптивного фильтра; $i \in \overline{1,N}$.

В базисе, образованном собственными векторами матрицы, выражение среднеквадратической ошибки фильтрации (1) на каждом шаге адаптации можно представить следующим виде

$$\left\langle \varepsilon^2(n) \right\rangle = \left\langle U_\text{ОП}^2 \right\rangle - 2\mathbf{Z}^\text{T}(n)\mathbf{B} + \mathbf{Z}^\text{T}(n)\mathbf{\Lambda}\mathbf{Z}(n). \quad (13)$$

Выполнив подстановку выражения (12) в уравнение (13), получим

$$\left\langle \varepsilon^2(n) \right\rangle = \left\langle \varepsilon_{min}^2 \right\rangle + \mathbf{Z}_\text{ОПТ}^\text{T} \Psi^\text{T}(n)\mathbf{\Lambda}\Psi(n)\mathbf{Z}_\text{ОПТ}, \quad (14)$$

где $\left\langle \varepsilon_\text{min}^2 \right\rangle = \left\langle U_\text{ОПТ}^2 \right\rangle - 2\mathbf{Z}_\text{ОПТ}^\text{T}\mathbf{B} + \mathbf{Z}_\text{ОПТ}^\text{T}\mathbf{\Lambda}\mathbf{Z}_\text{ОПТ}$ – минимальное значение среднеквадратической ошибки фильтрации в установившемся режиме.

Учитывая, что для всех значений λ_i выполняется условие $\gamma\lambda_i >> 1$, выражение, описывающее весовой вектор (8) в установившемся режиме, можно представить как

$$\mathbf{Z}_\text{ОПТ} = \mathbf{\Lambda}^{-1}\mathbf{B}. \quad (15)$$

Соответственно, выполнив подстановки выражений для минимального значения среднеквадратической ошибки (14) и установившегося значения весового вектора (15), получим

$$\begin{aligned} \left\langle \varepsilon^2(n) \right\rangle &= \left\langle U_\text{ОП}^2 \right\rangle - \mathbf{B}^\text{T}\mathbf{\Lambda}^{-1}\mathbf{B} + \\ &+ \mathbf{B}^\text{T}\mathbf{\Lambda}^{-1}\Psi^\text{T}(n)\mathbf{\Lambda}\Psi(n)\mathbf{\Lambda}^{-1}\mathbf{B}. \end{aligned} \quad (16)$$

Полученный результат позволяет определить величину среднеквадратической ошибки на произвольном шаге адаптации. Представив (16) через скалярные составляющие матричных сомножителей $\mathbf{B}$, $\mathbf{\Lambda}$, и $\Psi(n)$, получим выражение среднеквадратической ошибки для N невырожденных собственных значений матрицы $\mathbf{A}_\text{П}$

$$\left\langle \varepsilon^2(n) \right\rangle = \left\langle U_\text{ОП}^2 \right\rangle - \sum_{i=1}^{N} \frac{b_i^2}{\lambda_i}\left[1 - \left(\frac{\gamma\lambda_i}{T\Delta F}\right)^{2(n+1)}\right]. \quad (17)$$

Анализ выражения (17) показывает, что для стационарных случайных процессов с шириной спектра ΔF динамические параметры многомерного градиентного фильтра адаптации определяются множителями

$$\xi_i = 1 - \frac{\gamma\lambda_i}{T\Delta F}, \quad (18)$$

которые зависят от величины собственных значений λ_i корреляционной матрицы излучений $\mathbf{A}_\text{П}$. Динамические множители ξ_i определяют сходимость и устойчивость процесса установления оптимального значения весового вектора многомерного градиентного адаптивного фильтра по каждой из его координат. В частности:

− процесс адаптации градиентного фильтра является устойчивым и сходящимся, если для всех собственных значений λ_i матрицы $\mathbf{A}_\text{П}$ выполняется неравенство $|\xi_i| < 1$;

− процесс адаптации расходится, что равносильно потере устойчивости цепи управления градиентного адаптивного фильтра, если хотя бы одно собственное значение λ_i матрицы $\mathbf{A}_\text{П}$ не удовлетворяет условию $|\xi_i| < 1$;

− сходимость процесса адаптации достигает своего максимума в случае хорошей обусловленности матрицы $\mathbf{A}_\text{П}$, когда все собственные значения λ_i равны между собой и удовлетворяют неравенству $|\xi_i| < 1$;

− процесс адаптации устойчив, но наблюдается перерегулирование и снижение скорости адаптации, когда для каждого собственного значения λ_i выполняется условие $-1 < \xi_i < 0$.

Принимая во внимание возможный разброс собственных значений матрицы $\mathbf{A}_\text{П}$, условие устойчивости и сходимости процесса адаптации многомерного градиентного адаптивного фильтра может быть сформулировано в виде

$$T\Delta F > \gamma\lambda_\text{max}. \quad (19)$$

Максимальное собственное значение корреляционной матрицы $\mathbf{A}_\text{П}$ равно

$$\lambda_{max} \le \text{tr}\mathbf{A} = \sum_{i=1}^{N} a_{ii} = \sum_{i=1}^{N} \left\langle U_i^2 \right\rangle = N\left(P_\text{П} + P_\text{Ш}\right), \quad (20)$$

где $\text{tr}\mathbf{A}$ – след корреляционной матрицы $\mathbf{A}_\text{П}$.

Здесь $P_\Sigma = N\left(P_\text{П} + P_\text{Ш}\right)$ – полная мощность, состоящая из мощности $P_{П}$ от одного внешнего источника излучений и мощности внутренних шумов системы $P_{Ш}$. Очевидно, что устойчивость и сходимость процесса адаптации градиентного фильтра гарантирована при условии

$$T\Delta F \geq \gamma P_{\Sigma}. \qquad (21)$$

Соотношения (20) и (21) позволяют:

− во-первых, качественно оценить параметры цепи обратной связи, гарантирующие устойчивость и сходимость алгоритма адаптации для заданного значения мощности излучения;

− во-вторых, аналитически связать устойчивость и сходимость (при прочих равных условиях) с полной мощностью излучений.

Следуя логике рассуждений, несложно показать, что при фиксированных значениях коэффициентов передачи цепей управления $K_i(n)=1$, справедливо $W_{1ОПТ}=W_{2ОПТ}=\ldots=W_{NОПТ}$. В этом случае множители $\xi_i(n)$ имеют одинаковое значение для всех координат весового вектора $\mathbf{W}(n)$. Следовательно, используя (21) и при условии $\gamma\mathbf{A}_{П} >> \mathbf{I}$, можно записать

$$\xi(n+1)=\left[1-\frac{\gamma P_{Ш}}{T\Delta F}\left(1+N\frac{P_{П}}{P_{Ш}}\right)\right]\xi(n). \qquad (22)$$

Учитывая выражение (22) и опуская ряд процедурных операций преобразования, представим процесс адаптации N-мерного пространственно-временного фильтра в таком виде

$$\mathbf{W}(n)=W_{ОПТ}\left[1-\xi(n)\right]\cdot\mathbf{e}, \qquad (23)$$

где $W_{ОПТ}=\dfrac{P_{П}}{NP_{П}+P_{Ш}}$ – оптимальное значение весового коэффициента; $\mathbf{e}$ – единичный вектор; $\xi(n)=\left[1-\dfrac{\gamma P_{Ш}}{T\Delta F}\left(1+N\dfrac{P_{П}}{P_{Ш}}\right)\right]^{n-1}$ – динамические множители, отражающие взаимосвязи характеристик внешней среды и параметров адаптивного пространственно-временного фильтра.

Для оценки качества подавления активных шумовых излучений на выходе N-мерного адаптивной системы выбирается отношение мощностей помех на входе $P_{ВХ}$ и выходе $P_{ВЫХ}$ [2, 4, 8]

$$K_{П}=\frac{P_{ВХ}}{P_{ВЫХ}}, \qquad (24)$$

где $K_{П}$ – коэффициент подавления помех.

Используя выражения (1) и (23) получаем зависимость $P_{ВЫХ}(n)=f\left[\mathbf{W}(n)\right]$ и определяем значение коэффициента подавления на произвольном шаге адаптации N-мерной системы

$$K_{П}(n)=\left\{1-\frac{NP_{П}^{2}\cdot\left[1-\xi^{2}(n)\right]}{\left(NP_{П}+P_{Ш}\right)\cdot\left(P_{П}+P_{Ш}\right)}\right\}^{-1}. \qquad (25)$$

В представленном выражении (25) динамический множитель

$$|\xi|=\left|1-\frac{\gamma P_{Ш}}{T\Delta F}\cdot\left(1+N\frac{P_{П}}{P_{Ш}}\right)\right| \qquad (26)$$

определяет условия сходимости и устойчивости процесса адаптации N-канального пространственно-временного фильтра с параллельной структурой весового сумматора и общей цепью управления. Анализ взаимозависимостей показателя качества подавления шумовых излучений и динамических параметров, представленных выражениями (23)–(26), показывает, что возрастание отношения помеха/шум и расширение размерности адаптивного фильтра эквивалентно увеличению коэффициента передачи цепи обратной связи. При таких условиях значение величины динамического множителя уменьшается, что равнозначно возрастанию скорости сходимости процесса адаптации. Значение величины сходимости достигает своего максимума, когда $\xi=0$. Если $|\xi|>1$, то цепь управления теряет устойчивость, и процесс адаптации (26) расходится.

На рис. 1 приведен пример зависимости динамического множителя N-мерного адаптивного фильтра $\xi(n)$ (для N равно: 1; 3; 10; 20) от отношения мощностей помеха/шум на его входе при фиксированных уровне внутренних шумов $\gamma P_{Ш}=1$ и постоянной времени фильтра-интегратора в цепи обратной связи $T\Delta F=10^{3}$.

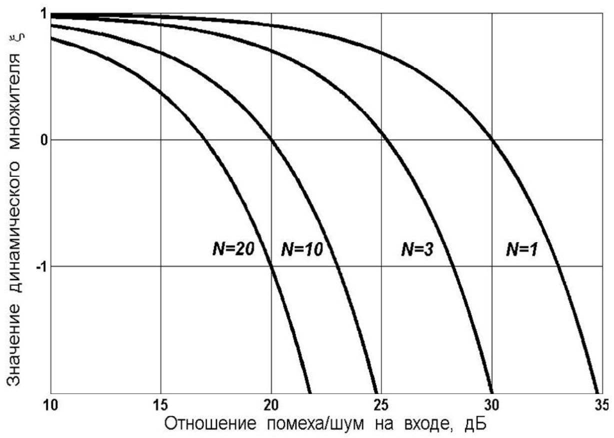

Рисунок 1 – Зависимость динамических множителей фильтра от мощности помехи на его входе

Сравнительный анализ полученных зависимостей (рис. 1) показывает, что при увеличении размерности фильтра область устойчивости ($|\xi|<1$) сужается. В частности, область устойчивости адаптивного десятиканального фильтра ограничена относительным уровнем внешнего помехового излучения 23 дБ, в то время как граница области устойчивости одномерного фильтра возрастает до значения 33 дБ.

Учитывая, что максимальная величина сходимости имеет место при $\xi=0$, несложно определить (рис. 1), что сходимость одномерного процесса адаптации достигается своего потенциального значения при отношении помеха/шум равном 30 дБ, а для трехмерного процесса – 25 дБ.

На рис. 2 и 3 изображены зависимости коэффициента подавления помехи $K_{\text{П}}(n)$ от номера шага адаптации, соответственно, для трехканальной и одноканальной структур адаптивного фильтра при заданных значениях отношения помеха/шум и фиксированном параметре цепи управления $T\Delta F=10^3$. Из результатов анализа кривых следует, что при отношениях помеха/шум менее 25 дБ параметры обеих структур фильтров находятся в пределах запаса устойчивости.

Приведенные на рис. 2 кривые указывают на сокращение времени, в течение которого коэффициент подавления помехи $K_{\text{П}}(n)$ достигает своего потенциального значения. Превышение помехой уровня мощности в 25 дБ существенно затягивает процесс адаптации фильтра, что свидетельствует о перерегулировании переходного процесса (условие $-1<\xi_i<0$, рис. 1), и, как правило, в дальнейшем приводит к потере устойчивости градиентного алгоритма.

В аналогичных условиях переходной процесс одномерного адаптивного фильтра является сходящимся (рис. 3). Его запас устойчивости, составляющий примерно 30 дБ (рис. 1), превосходит ресурс устойчивости трехканального адаптивного пространственно-временного фильтра.

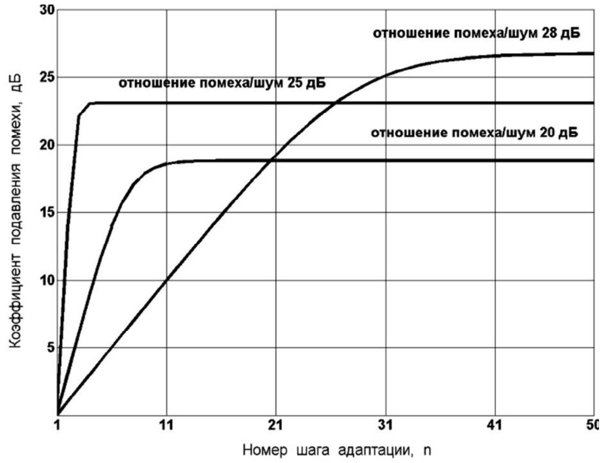

Рисунок 2 – Значение $K_{\text{П}}(n)$ на каждом шаге адаптации трехканального фильтра

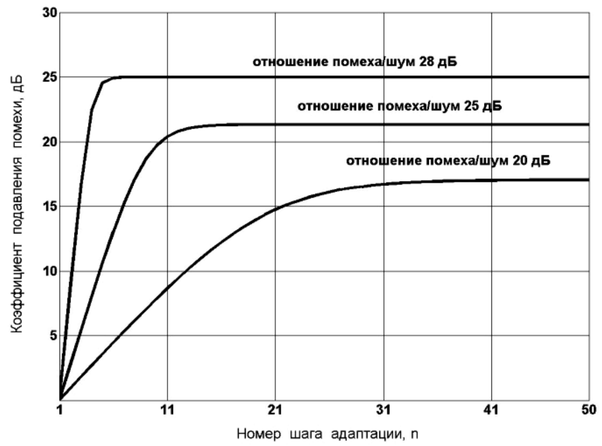

Рисунок 3 – Значение $K_{\text{П}}(n)$ на каждом шаге адаптации одноканального фильтра

Выводы

Материал статьи затрагивает только отдельные вопросы проблемы стабилизации динамических параметров адаптивных информационно-измерительных систем в условиях априорной неопределенности. Представленные исследования сводятся к оценке влияния сходимости и устойчивости процесса адаптации пространственно-временного фильтра на показатель качества подавления шумовых излучений. При этом, основное внимание уделяется методу динамических множителей, который дополняет известные методы анализа устойчивости адаптивных систем в недетерминированной помеховой ситуации.

Список использованных источников

1. Адаптивные фильтры / [П. М. Грант, К. Ф. Н. Коуэн, Б. Фридлендер и др.]; под ред. К. Ф. Н. Коуэна и П. М. Гранта; пер. с англ. Н. Н. Лихацкой. – М.: Мир, 1988. – 392 с.
2. Кузьмин С. З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию / Кузьмин С. З. – К.: Издательство КВІЦ, 2000. – 428 с.
3. Обработка сигналов в многоканальных РЛС / [А. П. Лукошкин, С. С. Каринский, А. А. Шаталов и др.]; под ред. А.П. Лукошкина. – М.: Радио и связь, 1983. – 328 с.
4. Адаптивная компенсация помех в каналах связи / [Ю. И. Лосев, А. Г. Бердников, Э. Ш. Гойхман, Б. Д. Сизов]; под ред. Ю. И. Лосева. – М.: Радио и связь, 1988. – 208 с.
5. Монзинго Р. А. Адаптивные антенные решётки. Введение в теорию / Р. А. Монзинго, Т. У. Миллер; пер. с англ. под ред. В.А. Лексаченко. – М.: Радио и связь, 1986. – 448 с.
6. Гусев С. И. Повышение скорости сходимости адаптации в системе обработки сигналов с оптимизацией пространственной структуры / С. И. Гусев, Ю.Н. Паршин // Вестник РГРТУ. – Рязань, 2011. – № 3 (37). – С. 21-34.
7. Ратынский М. В. Адаптация и сверхразрешение в антенных решётках / Ратынский М. В. – М.: Радио и связь, 2003. – 200 с.
8. Кошелев В. И. Повышение эффективности алгоритмов защиты РЛС от активных шумовых помех /В. И. Кошелев, Е. С. Штрунова // Вестник РГРТУ. – Рязань, 2011. – № 3 (37). – С. 27-31.

Поступила в редакцию 20.05.2013

Рецензент: д.т.н., с.н.с. Братченко Г. Д., Одесская государственная академия технического регулирования и качества, г. Одесса.

В. В. Скачков, д.т.н., **О. М. Єфимчиков,** к.т.н., **В. І. Павлович, С. С. Ковалішин**

ОЦІНКА ВПЛИВУ ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГРАДІЄНТНИХ АЛГОРИТМІВ АДАПТАЦІЇ НА ЯКІСТЬ ПРИДУШЕННЯ ШУМОВИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ

Методами динамічних множників і унітарних перетворень досліджений вплив динамічних параметрів на ефективність придушення активних шумових випромінювань на виході N-мірного адаптивного фільтра інформаційно-вимірювальної системи. Установлено аналітичну залежність коефіцієнта придушення шумової перешкоди від динамічних параметрів: збіжності й стійкості градієнтного процесу адаптації довільної розмірності. Показано вплив енергетичних параметрів шумових випромінювань, розмірності адаптивної системи й параметрів ланцюга адаптивного управління на запас стійкості й збіжність багатомірного градієнтного алгоритму адаптації.

Ключові слова: *градієнтний алгоритм адаптації, багатомірний просторово-часовий фільтр, кореляційна матриця шумових випромінювань, власне значення, динамічні параметри, стійкість, збіжність, ваговий вектор, коефіцієнт придушення, коефіцієнт передачі ланцюга зворотного зв'язку.*

V. V. Skachkov, DSc, **A. N. Efimchikov,** PhD, **V.I. Pavlovich, S. S. Kovalishin**

ASSESSMENT OF INFLUENCE OF DYNAMIC PARAMETERS OF GRADIENT ALGORITHMS OF ADAPTATION ON QUALITY OF SUPPRESSION OF NOISE RADIATIONS

Methods of dynamic multipliers and unitary transformations investigated influence of dynamic parameters on efficiency of suppression of active noise radiations at the exit N-dimensional the adaptive filter of information and measuring system. Analytical dependence of coefficient of suppression of a noise hindrance on dynamic parameters is established: convergence and stability of gradient process of adaptation of any dimension. Influence of power parameters of noise radiations is shown, to dimension of adaptive system and parameters of a chain of adaptive management on a stock of stability and convergence of multidimensional gradient algorithm of adaptation.

Keywords: *gradient algorithm of adaptation, multidimensional existential filter, correlation matrix of noise radiations, own value, dynamic parameters, stability, convergence, weight vector, coefficient of suppression, coefficient of transfer of a chain of feedback.*