

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут інформатики та радіоелектроніки
Факультет радіоелектроніки і телекомунікацій
(повне найменування інституту, назва факультету)

Радіотехніки та телекомунікацій
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка
до магістерської роботи

(рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: "Спектральний аналіз звукових сигналів. Комплексна магістерська робота"

Виконав: студент VI курсу, групи РТ-213м
спеціальності (напряму підготовки)

172 "Телекомунікації та радіотехніка"
(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

ОПП "Радіотехніка"

Мельник В. П.

(прізвище та ініціали)

Керівник: Чорнобородов М. П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент: Касьян М. М.

(прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя
2018 рік

РЕФЕРАТ

ПЗ: 68 стр., 12 рис., 13 табл., 4 источника.

Объект исследования – адаптивные фильтры.

Цель работы – сравнительный анализ различных алгоритмов настройки адаптивных фильтров по методу наименьших средних квадратов.

Метод исследования – теоретически-расчетный с использованием ЭВМ.

Выполнен сравнительный анализ различных алгоритмов настройки адаптивных фильтров по методу наименьших средних квадратов.

При выполнении магистерской работы применялись современные методы проектирования. Проектирование осуществлялось на специальном программном обеспечении и вычислительной технике.

ЦИФРОВОЙ ФИЛЬТР, АДАПТИВНЫЙ ФИЛЬТР, АЛГОРИТМ НАСТРОЙКИ, ВЕСОВЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ, МНК, РМНК, РЕКУРСИЯ

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ.....	6
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 ОБЗОР ОБЛАСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ.....	9
1.1 Общие сведения об адаптивных фильтрах.....	9
1.2 Нерекурсивные адаптивные фильтры.....	13
1.3 Рекурсивные адаптивные фильтры.....	18
1.4 Алгоритм работы нерекурсивного адаптивного фильтра.....	22
1.5 Постановка задачи научной работы.....	24
2 АНАЛИЗ АДАПТАЦИИ ШУМОПОДАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ.....	25
2.1 Описание физической модели шумоподавляющей системы.....	25
2.2 Описание использованной программной модели шумоподавления....	27
2.3 Критерии сравнения алгоритмов адаптации фильтра.....	29
2.4 Оценка эффективности алгоритмов адаптации.....	31
3 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ.....	40
3.1 Планирование научно-исследовательских работ.....	40
3.2 Расчет затрат на проведение НИР.....	44
3.3 Расчет экономической эффективности НИР.....	48
3 ОХРАНА ТРУДА И БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧС.....	51
4.1 Анализ потенциальных опасностей.....	51
4.2 Мероприятия по обеспечению безопасности.....	53
4.3 Мероприятия по промсанитарии и гигиене труда.....	55
4.4 Мероприятия по пожарной безопасности.....	62
4.5 Мероприятия по обеспечению безопасности в ЧС.....	64
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	67
ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК.....	68

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

АКФ	– автокорреляционная функция
АЧХ	– амплитудно-частотная характеристика
ВК	– весовые коэффициенты
МНК	– метод наименьших квадратов
НМНК	– нерекурсивный метод наименьших квадратов
ОСШ	– отношение сигнал/шум
РМНК	– рекурсивный метод наименьших квадратов
ЦОС	– цифровая обработка сигналов
LMS	– least mean square
RLS	– recursive least squares

ВВЕДЕНИЕ

Цифровая обработка сигналов (ЦОС) сегодня широко используется в радиолокационных и радионавигационных системах, системах радио, проводной и оптической связи; в вычислительной и бытовой технике. Это обусловлено огромными теоретическими достижениями за последние шесть десятилетий в ЦОС, а также технологическими достижениями электронной техники, позволившими создавать одновременно компактные и высокопроизводительные цифровые устройства для реализации алгоритмов ЦОС в реальном масштабе времени. Столь длительное развитие теории и практики ЦОС привело к появлению в этой области знаний ряда самостоятельных научно-технических направлений. Адаптивная обработка сигналов – это одно из таких направлений.

Адаптивная обработка сигналов зарождалась в середине прошлого века. Однако корни используемых в ней математических методов уходят в более далекое прошлое. Затем эти методы были использованы Винером, Колмогоровым, Крейном, Левинсоном и рядом других ученых для формирования основных принципов адаптивной обработки сигналов. Использованию же адаптивной обработки сигналов на практике человечество обязано Бэрнарду Уидроу (Bernard Widrow), который в конце 50-х годов прошлого века разработал и реализовал первый адаптивный фильтр на базе Least Mean Square (LMS) алгоритма, также известного как алгоритм по методу наименьшего квадрата (МНК).

Использовать адаптивную обработку сигналов, под которой обычно понимается адаптивная фильтрация, требуется тогда, когда с поставленной задачей не могут справиться фильтры с фиксированными параметрами. Как правило, это – случаи, когда условия фильтрации меняются. Поэтому требования к параметрам фильтра не могут быть сформулированы заранее.

Адаптивный фильтр – это фильтр с перестраиваемыми весовыми коэффициентами (ВК). В зависимости от решаемой задачи он может быть одноканальным или многоканальным, иметь действительные или комплексные ВК.

Алгоритмы вычисления ВК могут быть простыми, как, например, LMS-алгоритм, или сложными, как, например, Recursive Least Squares (RLS) алгоритм, также известный как рекурсивный метод наименьших квадратов (РМНК).

Сегодня существует огромное число радиоэлектронных изделий, показатели работы которых немыслимы без использования адаптивных фильтров. Примерами таких изделий являются адаптивные антенные решетки, адаптивные компенсаторы сигналов электрического и акустического эха, адаптивные эквалайзеры (выравниватели) электрических характеристик каналов связи, адаптивные компенсаторы шумов и ряд других устройств. Адаптивные фильтры, входящие в состав этих устройств, в зависимости от используемого алгоритма вычисления ВК, демонстрируют различную функциональную эффективность.

1 ОБЗОР ОБЛАСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

1.1 Общие сведения об адаптивных фильтрах

Проблема помехозащищенности речевых каналов актуальна для современных технических систем, таких как системы связи и управления. Под речевым каналом понимают совокупность приемного и передающего устройств, а также линии связи, работающих с речевыми сигналами. Сбор речи, как правило, сопряжен с попаданием в канал нежелательных помех. Говорящий может находиться в цехе с работающим оборудованием, в транспорте, вблизи шумящих природных объектов – во всех этих случаях на вход передающего устройства поступает не только полезный сигнал, но и шумовая составляющая. Поскольку такая помеха возникает в точке передачи и не связана с качеством линии связи, подсистему подавления целесообразно размещать внутри передающего устройства. Характеристики помехи заранее неизвестны, поэтому в подсистеме подавления может быть использована адаптивная цифровая фильтрация.

Адаптивный цифровой фильтр имеет переменные параметры, которые перестраиваются под действием входных сигналов. Область применения адаптивных фильтров довольно обширна и включает в себя адаптивное моделирование и управление, шумоподавление, адаптивные антенные решетки.

Адаптивные фильтры лучше всего использовать в тех случаях, когда условия сигнала или системные параметры медленно меняются, и фильтр необходимо отрегулировать, чтобы компенсировать это изменение.

Составной частью адаптивного фильтра, которая отвечает за изменение его параметров, является применяемый алгоритм адаптации. Существует множество алгоритмов, различающихся быстротой сходимости и вычислительной сложностью.

В традиционных цифровых фильтрах с конечной (КИХ или FIR) и бесконечной (БИХ или IIR) импульсными характеристиками предполагается, что параметры процесса для определения характеристик фильтра известны. И, хотя они и могут изменяться со временем, но предполагается, что характер изменения – известен. Во многих практических задачах существует большая неопределенность в некоторых параметрах из-за несоответствия данных предыдущих испытаний наблюдаемому процессу. Можно ожидать, что некоторые параметры изменятся со временем, но точный характер изменения – не предсказуем. В таких случаях крайне желательно, чтобы фильтр был самообучающимся, чтобы он мог адаптироваться к конкретной ситуации.

В общем случае, адаптивный фильтр является нелинейным устройством, поскольку его параметры меняются в процессе его работы. Однако, для текущего набора параметров (то есть, их фиксированного значения) адаптивный фильтр представляет собой линейное устройство, поскольку между его входными и выходными сигналами обычно существует линейная зависимость. Она определяется текущим набором весовых коэффициентов фильтра, подобно линейным фильтрам с фиксированными параметрами.

Таким образом, адаптивный фильтр – это фильтр с изменяемыми в процессе работы параметрами, набор которых во многом зависит от критерия работы адаптивного фильтра. Этим критерием часто является достижение минимума некоторой целевой функции, как правило, квадратичной функции ошибки между так называемым образцовым и выходным сигналами адаптивного фильтра. Достижение минимума целевой функции означает, что выходной сигнал адаптивного фильтра «близок» к образцовому (desired) сигналу, т. е. повторяет по форме этот сигнал.

Выходной сигнал адаптивного фильтра приближается к образцовому сигналу за счет изменения весовых коэффициентов, рассчитываемых на основе обработки образцового и входного сигнала. В установившемся режиме, значения весовых коэффициентов соответствуют минимуму целевой функции или его

окрестности. Так как состояние адаптивного фильтра меняется в процессе настройки весовых коэффициентов, то считается, что он адаптируется (приспосабливается) к текущим условиям работы. Поэтому и такой фильтр, и алгоритм вычисления его весовых коэффициентов называют адаптивными.

Коэффициенты адаптивного фильтра настраиваются для компенсации изменений входного сигнала, выходного сигнала или параметров системы. Вместо того, чтобы быть жесткими, адаптивная система может изучать характеристики сигнала и отслеживать медленные изменения. Адаптивный фильтр может быть очень полезен, когда есть неопределенность в отношении характеристик сигнала или изменении этих характеристик.

Наиболее часто используемыми в обработке звуковых сигналов является метод наименьших средних квадратов: LMS, RLS и их разновидности. Критерий наименьших средних квадратов – это алгоритм поиска, который можно использовать для предоставления стратегии корректировки коэффициентов фильтра.

Цифровой фильтр – это математический алгоритм, который осуществляет определенную аппаратную или программную процедуру выделения полезного сигнала из смеси с шумом и помехами. Узкополосный аналоговый сигнал периодически выбирается аналогово-цифровым преобразователем и преобразуется в набор цифровых выборок $x(n)$, $n=0, 1, \dots$ Цифровой процессор осуществляет фильтрацию, превращая входную последовательность $x(n)$ в выходную $y(n)$ согласно вычислительного алгоритма фильтра. ЦАП преобразует отфильтрованный цифровой способ выход на аналоговые значения, которые затем проходят аналоговую фильтрацию для сглаживания и устранения нежелательных высокочастотных компонентов. Как фильтрованные $[y(n)]$, так и нефильтрованные $[x(n)]$ данные можно сохранить для следующего использования.

Цифровые фильтры могут иметь характеристики, получить на аналоговых фильтрах невозможно: например, действительно линейную фазовую характеристику. В отличие от аналоговых, производительность цифровых фильтров

не зависит от изменений среды, например, от колебаний температуры. Таким образом, цифровые фильтры не требуют периодической калибровки.

Если фильтр построен с использованием микропроцессора, его частотная характеристика может настраиваться автоматически (поэтому такие процессоры широко применяются в адаптивных фильтрах). Один цифровой фильтр может обрабатывать несколько входных сигналов или каналов без дублирования аппаратных блоков. Цифровые фильтры потребляют значительно меньшую мощность от источника питания и имеют более низкую стоимость.

На практике точность, которой можно добиться при использовании аналоговых фильтров ограничена; например, затухание в полосе подавления нельзя получить выше 60-70 дБ (если использовать стандартные аналоговые компоненты). Точность цифровых фильтров ограничена только разрядностью микропроцессора. Цифровые фильтры могут использоваться при очень низких частотах, характерных, например, для многих биомедицинских применений, где использовать аналоговые фильтры непрактично. Кроме того, цифровые фильтры могут применяться в большом диапазоне частот, для чего достаточно просто изменять частоту дискретизации. Но, по сравнению с аналоговыми, цифровые фильтры имеют и ряд недостатков:

Ограничение скорости. Максимальная ширина полосы сигналов, что в настоящем времени способны обработать цифровые фильтры, значительно уже, чем в аналоговых фильтрах. В масштабе настоящего времени, процесс преобразования "аналоговый-цифровой-аналоговый" вводит ограничения по скорости цифрового фильтра. Самую высокую частоту дискретизации, с которым может работать фильтр, ограничивает время конвертации АЦП и время установления сигнала ЦАП. Кроме того, скорость работы цифрового фильтра зависит от скорости работы используемого цифрового процессора и числа арифметических операций, что следует выполнить в алгоритме фильтрации. Для получения более сжатой характеристики фильтра скорость обработки должна повышаться.

Влияние конечной разрядности. Цифровые фильтры подвергаются шумам

АЦП, вызываемую квантованием непрерывного сигнала и шумов округления, которое применяется для вычислений. За использование рекурсивных фильтров высоких порядков, накопление шума округления может привести к неустойчивости фильтра.

Значительное время разработки и внедрения. Разработка и внедрение цифровых фильтров, особое внедрение аппаратного обеспечения, могут выполняться намного дольше, чем подобные процедуры в аналоговых фильтрах. В то же время, один раз разработанное программное обеспечение может использоваться в других задачах цифровой обработки сигналов с незначительной модификацией или вообще без изменений. Если за проектирование цифровых фильтров доступна мощная компьютерная поддержка, эту задачу будет очень легко решать. Хотя для того, чтобы эффективно и полно использовать такую поддержку, нужны определенные умения.

1.2 Нерекурсивные адаптивные фильтры

На рис. 1.1 показана общая структурная схема адаптивного фильтра, в которой выходной сигнал $y[n]$ адаптивного фильтра сравнивается с образцовым сигналом $d[n]$ для получения сигнала ошибки $e[n]$ (в смысле минимального её среднеквадратичного значения), который осуществляет перестройку весовых коэффициентов адаптивного фильтра.

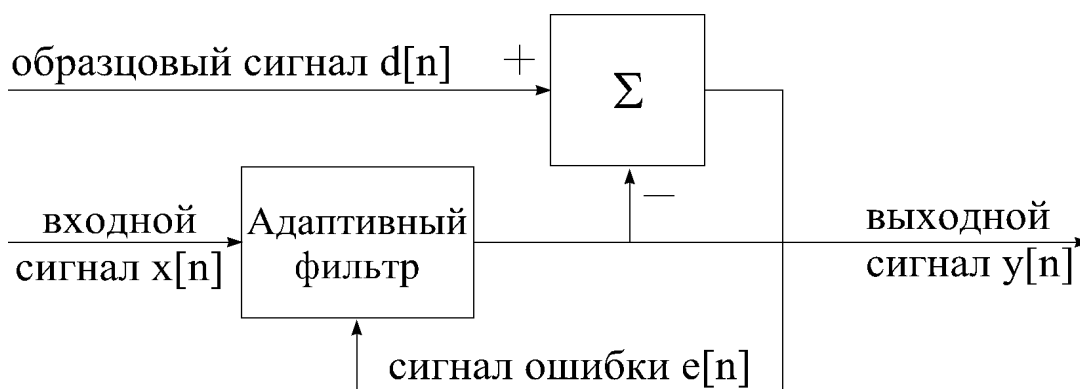


Рисунок 1.1 – Структурная схема адаптивного фильтра

Значения коэффициентов $w[k]$ адаптивного фильтра оптимизируются для каждого очередного n -отсчёта входного сигнала (или момента времени n) на основе алгоритма наименьших квадратов с помощью сигнала ошибки $e[n]$:

$$y[n] = \sum_{k=0}^{N-1} w[k] \cdot x[n-k]. \quad (1.1)$$

Сигнал ошибки $e[n]$ является показателем эффективности фильтра:

$$e[n] = d[n] - y[n]. \quad (1.2)$$

Коэффициенты $w[k]$ корректируются таким образом, чтобы минимизировать функцию среднеквадратичной ошибки $e^2[n]$. Поскольку для каждого момента времени n рассчитывается k коэффициентов, то используют градиент функции среднего квадрата ошибки. Вместо расчёта градиента можно использовать оценку ошибки для расчёта значений весовых коэффициентов $w_{n+1}[k]$ для следующего $(n+1)$ момента времени через их значения $w_n[k]$ на текущем моменте времени n :

$$w_{n+1}[k] = w_n[k] + 2 \cdot \beta \cdot e[n] \cdot x[n-k], \quad (1.3)$$

где $k=0, 1, \dots, N-1$,

β – адаптивный размер шага настройки весов или скорость сходимости (точность) процесса адаптации.

Выражение (1.3) обеспечивает простой, но эффективный способ вычисления весовых коэффициентов без необходимости расчёта градиента (дифференцирования с усреднением).

Обновление значений каждого весового коэффициента $w(k)$ согласно (1.3) производится для каждого момента времени n , если сигнал ошибки $e(n)$ не

равен нулю. В противном случае, веса не обновляют и следующий $(n+1)$ -отсчёт входного сигнала фильтруется со старым значением весовых коэффициентов.

Процесс адаптации фильтра является стабильным при его построении на основе фильтра с конечной импульсной характеристикой и может расходиться в случае бесконечной импульсной характеристики.

Для различных применений адаптивной фильтрации входной смеси сигнала и помех $s[n]$, используются следующие структуры:

- шумоподавление (см. рис. 1.2);
- идентификация объекта (см. рис. 1.3);
- предсказание (см. рис. 1.4).

На рис. 1.2 показана адаптивная структура, предназначенная для шумоподавления. Полезный сигнал $x[n]$ искажается некоррелированным аддитивным шумом $z[n]$. Входной сигнал адаптивного фильтра представляет собой шум $z'[n]$, который коррелирован с шумом $z[n]$ и не коррелирован с полезным сигналом $x[n]$. Помеховые шумовые сигналы не коррелированы с полезным сигналом, но коррелированы между собой, поскольку получены от одного источника. Шум $z'[n]$ может исходить из того же источника, что и шум $z[n]$, но изменяться окружающей средой. Выходной сигнал адаптивного фильтра должен настроиться на шум $z[n]$. Если это происходит, то выходной сигнал шумоподавляющего фильтра приближается к полезному сигналу $x[n]$. Именно в этом и состоит отличие шумоподавляющего фильтра (см. рис. 1.2) от обобщённой структурной схемы адаптивного фильтра (см. рис. 1.1): на рис. 1.2 выходной сигнал – это сигнал ошибки $e[n]$ рис. 1.1, а не выход адаптивного фильтра $y[n]$, изображённого на рис. 1.1.

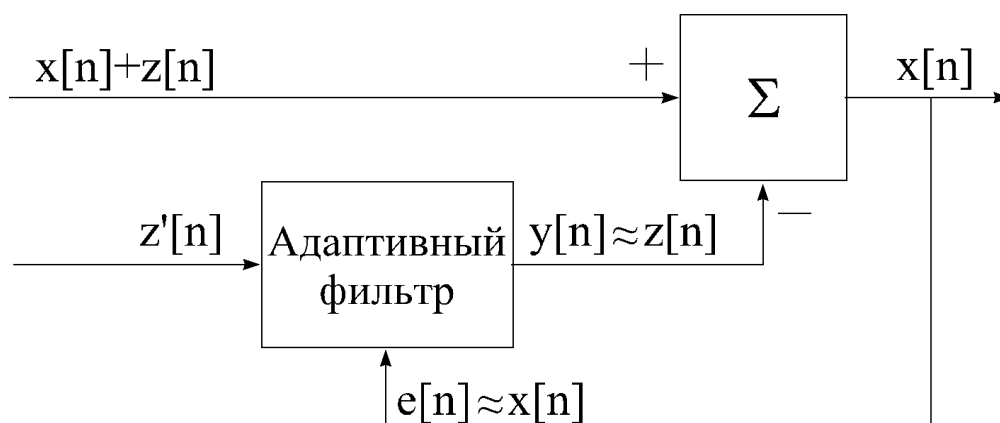


Рисунок 1.2 – Структурная схема шумоподавляющего фильтра

Поэтому, при работе в режиме шумоподавления, адаптивный фильтр моделирует акустическую среду от источника шума $z'[n]$ до источника полезного сигнала $x[n]$. Именно эта среда и преобразовывает шум $z'[n]$ в $z[n]$.

На рис. 1.3 показана структура адаптивного фильтра, которая может использоваться для идентификации или моделирования объекта, или системы. Один и тот же входной сигнал поступает параллельно с адаптивным фильтром и на исследуемый объект (систему), параметры которой – неизвестны. Сигнал ошибки $e[n]$ представляет собой разницу между откликом неизвестного объекта $d[n]$ и откликом адаптивного фильтра $y[n]$. Сигнал ошибки $e[n]$ подается обратно в адаптивный фильтр и используется для обновления значений его коэффициентов до тех пор, пока общий выходной сигнал $y[n]$ не станет равным $d[n]$. Как только это происходит, процесс адаптации заканчивается, и сигнал ошибки $e[n]$ становится нулевым. В этой схеме адаптивный фильтр моделирует неизвестный объект.

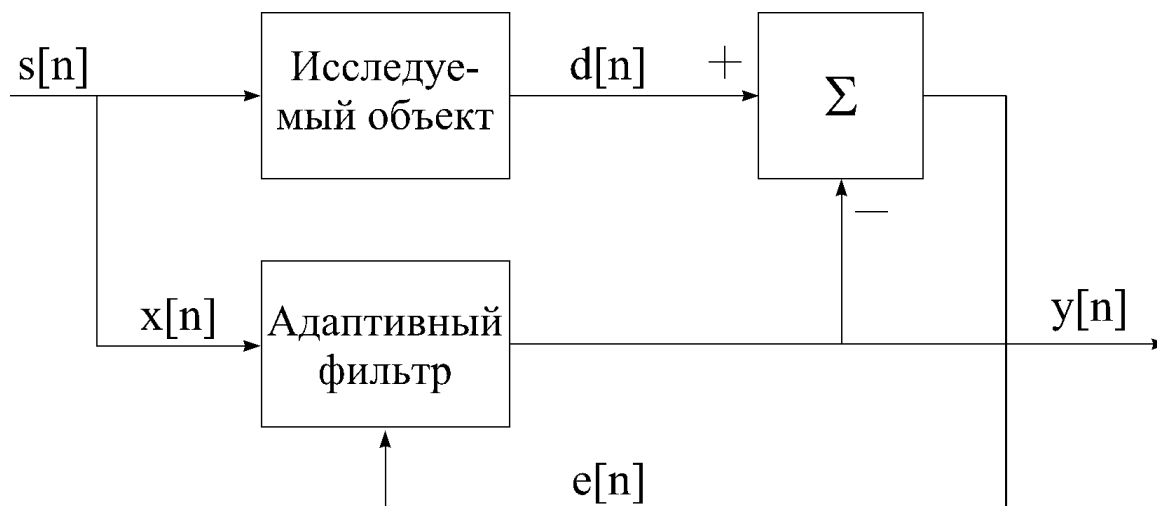


Рисунок 1.3 – Структурная схема моделирования объекта

На рис. 1.4 приведена структурная схема адаптивного предсказателя, который может экстраполировать входные данные. То есть, произвести оценку значения следующего (который поступит в момент времени $n+1$) отсчёта на основании предыдущих мгновенных значений (отсчётов) входного сигнала.

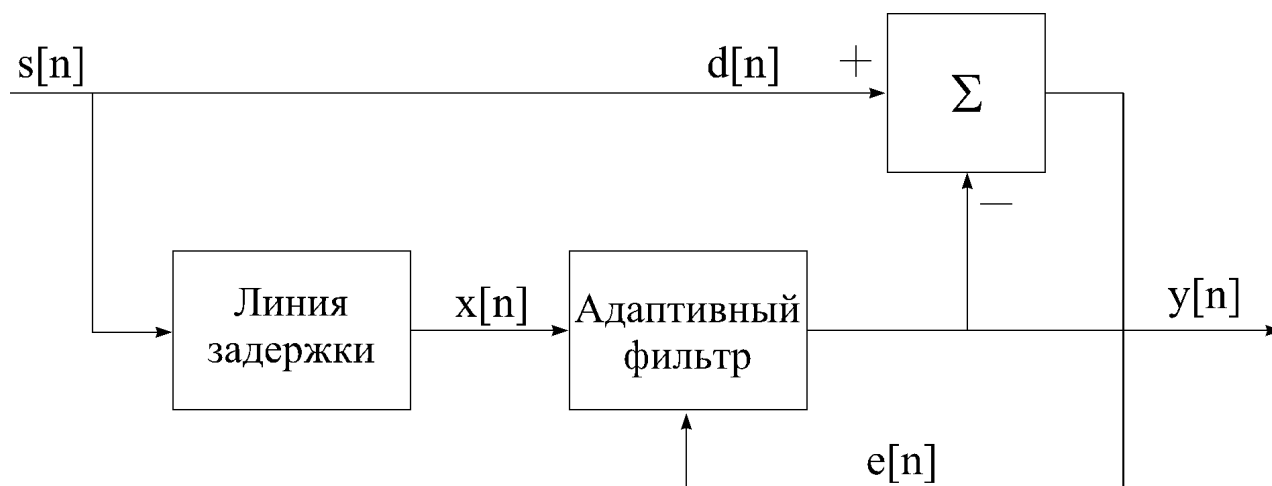


Рисунок 1.4 – Структурная схема адаптивного предсказателя

Алгоритм настройки по методу наименьших квадратов весьма полезен в адаптивных эквалайзерах, телефонных эхо-подавителях и так далее.

Рекурсивный алгоритм наименьших квадратов (РМНК) может обеспечить более быструю сходимость, чем базовый МНК, но за счет бóльшего количества вычислений. Выигрыш РМНК получается за счёт того, что на начальном этапе (в момент времени $n=0$) фильтрация начинается с оптимального решения, а затем каждый отсчёт входного сигнала используется для обновления импульсной характеристики фильтра для сохранения существующей оптимальности. Правильный размер шага и направление определяются для каждой временной выборки отдельно.

Адаптивные алгоритмы для восстановления свойств сигналов особенно полезны, когда соответствующий опорный сигнал недоступен. Фильтр должен быть адаптирован таким образом, чтобы восстановление образцовых параметров образцового сигнала было выполнено до его поступления на вход адаптивного фильтра. Например, вместо образцовой формы сигнала в качестве шаблона, как в алгоритмах МНК, так и РМНК, предсказывание используется для адаптации фильтра. Если образцовый сигнал доступен, можно использовать традиционный подход, например, алгоритм МНК. В противном случае, используется априорное знание о сигнале.

1.3 Рекурсивные адаптивные фильтры

При рассмотрении статистической задачи оптимизации, для простоты реализации, удобно рассматривать входной сигнал случайным процессом. Это позволяет минимизировать средний квадрат ошибки воспроизведения образцового сигнала. Однако возможен и иной подход, не использующий статистические методы.

В этом случае, оптимизационная задача имеет смысл поиска таких коэффициентов фильтра $w[n]$, чтобы норма ошибки воспроизведения образцового сигнала была минимальной:

$$J(w[n]) = \sum_{n=0}^{N-1} e^2[n] \rightarrow \min. \quad (1.4)$$

Для решения задачи в выражениях (1.1) и (1.2) необходимо перейти к матричной записи вдоль координаты n , получив формулы для векторов-столбцов выходного сигнала $y[n]$ и для ошибки воспроизведения входного сигнала $e[n]$:

$$y[n] = \sum_{k=0}^{N-1} x[n] \cdot w[k] = X^T \cdot W, \quad (1.5)$$

где S – вектор-столбец сигнала на входе фильтра,

W – вектор весовых коэффициентов фильтра,

$$e[n] = d[n] - \sum_{k=0}^{N-1} x[n] \cdot w[k] = D - X^T \cdot W. \quad (1.6)$$

Тогда

$$J(W) = E^T \cdot E \rightarrow \min. \quad (1.7)$$

Тогда искомое оптимальное решение:

$$W = (X \cdot X^T)^{-1} \cdot X \cdot D. \quad (1.8)$$

Сократить вычислительные затраты можно, если заметить, что на каждом шаге к матрице X добавляется лишь один новый столбец, а к вектору D — один новый элемент. Это даёт возможность организовать вычисления рекурсивно. Соответствующий алгоритм называется рекурсивным методом наименьших

квадратов (РМНК, Recursive Least Square, RLS).

При использовании РМНК-алгоритма производится рекурсивное обновление оценки обратной корреляционной матрицы $R=(S \cdot S^T)^{-1}$. А расчёт коэффициентов оптимального фильтра производится в следующей последовательности:

1) при поступлении очередного отсчёта входного сигнала $x[n+1]$ производится его фильтрация с использованием текущих коэффициентов фильтра $W[n]$ и вычисление величины ошибки воспроизведения образцового сигнала:

$$y[n]=X^T[n] \cdot W[n-1], \quad (1.9)$$

$$e[n]=d[n]-y[n]. \quad (1.10)$$

2) рассчитывается вектор-столбец коэффициентов усиления (следует отметить, что знаменатель дроби в следующих двух формулах является скаляром, а не матрицей):

$$k[n]=\frac{R(n-1) \cdot x(n)}{1+X^T(n) \cdot R(n-1) \cdot X(n)}. \quad (1.11)$$

3) производится обновление оценки обратной корреляционной матрицы сигнала:

$$R[n]=R[n-1]-k[n] \cdot X^T[n] \cdot R[n-1]. \quad (1.12)$$

4) производится обновление коэффициентов фильтра:

$$w[n]=w[n-1]+k[n] \cdot e[n]. \quad (1.13)$$

Начальное значение вектора W обычно принимается нулевым, а в качестве исходной оценки матрицы R используется диагональная матрица вида $c \cdot I/\sigma_x^2$, где $c \gg 1$ (в рекомендуется $c=100$).

В формулах (1.7), (1.9) и (1.10) значениям ошибки на всех временных тактах придается одинаковый вес. В результате, если статистические свойства входного сигнала со временем изменяются, это приводит к ухудшению качества фильтрации. Чтобы фильтру имел возможность отслеживать нестационарный входной сигнал, можно применить в (1.7) экспоненциальное забывание, при котором вес прошлых значений сигнала ошибки экспоненциально уменьшается:

$$J(w) = \sum_{k=0}^{K-1} \lambda^{K-1-k} \cdot e^2[k]. \quad (1.14)$$

При использовании экспоненциального забывания, формулы (1.11) и (1.12) принимают следующий вид:

$$k[n] = \frac{R(n-1) \cdot x(n)}{\lambda + X^T(n) \cdot R(n-1) \cdot X(n)}, \quad (1.15)$$

$$R[n] = (R[n-1] - k[n] \cdot X^T[n] \cdot R[n-1]) / \lambda. \quad (1.16)$$

Главным достоинством алгоритма RLS является быстрая сходимость. Однако достигается это за счет значительно более высокой (по сравнению с алгоритмом LMS) вычислительной сложности.

1.4 Алгоритм работы нерекурсивного адаптивного фильтра

Алгоритм работы адаптивного фильтра в общем виде (рис. 1.1), можно представить в виде следующего набора операций:

- получить новую выборку для образцового $d[n]$ и эталонного $x[n]$ сигналов адаптивного фильтра;
- рассчитать выходной сигнал $y[n]$ адаптивного фильтра с конечной импульсной характеристикой согласно выражению (1.1);
- рассчитать сигнал ошибки согласно выражению (1.2);
- рассчитать значения каждого весового коэффициента согласно выражению (1.3);
- повторить весь адаптивный процесс для следующего момента времени $(n+1)$.

Текст программы на языке программирования C:

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#define beta 0.01 //convergence rate
#define N 21 //order of filter
#define NS 40 //number of samples
#define Fs 8000 //sampling frequency
#define pi 3.1415926
#define DESIRED 2*cos(2*pi*T*1000/Fs) //desired signal
#define NOISE sin(2*pi*T*1000/Fs) //noise signal
main()
{
    long I, T;
    double D, Y, E;
    double W[N+1] = {0.0};
```

```

double X[N+1] = {0.0};
FILE *desired, *Y_out, *error;

//file for desired samples
desired = fopen ("DESIRED", "w++");
//file for output samples
Y_out = fopen ("Y_OUT", "w++");
//file for error samples
error = fopen ("ERROR", "w++");
for (T = 0; T < NS; T++) //start adaptive algorithm
{
    X[0] = NOISE; //new noise sample
    D = DESIRED; //desired signal
    Y = 0; //filter'output set to zero
    //calculate filter output
    for (I = 0; I <= N; I++) Y += (W[I] * X[I]);
    E = D - Y //calculate error signal
    for (I = N; I >= 0; I--)
    {
        //update filter coefficients
        W[I] = W[I] + (beta*E*X[I]);
        if (I != 0) X[I] = X[I-1]; //update data sample
    }
    fprintf (desired, "\n%10g %10f", (float) T/Fs, D);
    fprintf (Y_out, "\n%10g %10f", (float) T/Fs, Y);
    fprintf (error, "\n%10g %10f", (float) T/Fs, E);
}
fclose (desired);
fclose (Y_out);

```

```
fclose (error);  
}
```

1.5 Постановка задачи научной работы

Целью данной работы является:

а) проведение сравнительного анализа трех алгоритмов адаптивной фильтрации методом наименьших квадратов (МНК, НМНК и РМНК) для адаптивного шумоподавителя (см. рис. 1.2) на основании следующего набора параметров:

- 1) коэффициенту подавления помехи;
- 2) скорости сходимости к установившемуся режиму;
- 3) вычислительной сложности алгоритма;
- 4) характеру помехи.

2 АНАЛИЗ АДАПТАЦИИ ШУМОПОДАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

2.1 Описание физической модели шумоподавляющей системы

Объектом моделирования является двухмикрофонная (см. рис. 2.1) система шумоподавления (см. рис. 1.2). Первый микрофон, формирующий сигнально-шумовую смесь ($d[n]=x[n]+z[n]=\text{сигнал}+\text{шум}$), располагается рядом с говорящим. Второй микрофон, формирующий шум' ($z'[n]$) располагается рядом с источником шума, который нельзя физически устранить: например, рядом с вентилятором, двигателями автомобиля (самолета или вертолета) и так далее.

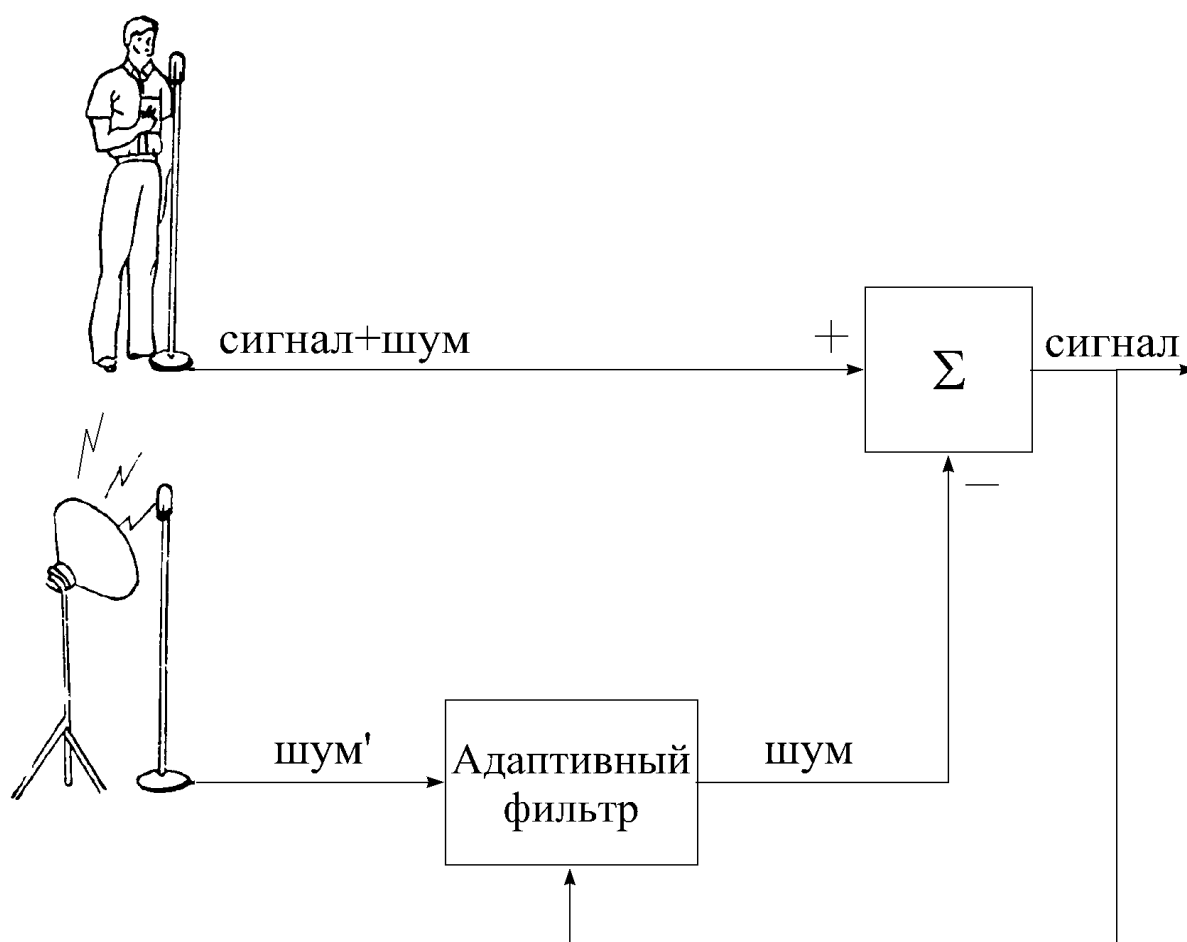


Рисунок 2.1 – Шумоподавляющая система

Если адаптивный фильтр рассматривать как трансверсальный, то его выходной сигнал определяется выражением:

$$y[n] = \sum_{k=1}^N w_k[n-1] \cdot x[n-k+1] = W_N^T(n-1) \cdot X_N(k), \quad (2.1)$$

где $X_N(k) = \{x[n], x[n-1], \dots, x[k-n+1], \dots, x[k-N+1]\}$ – вектор отсчётов входного сигнала;

$W_N(n-1) = \{w_1[n-1], w_2[n-1], \dots, w_k[n-1], \dots, w_N[n-1]\}$ – вектор весовых коэффициентов.

Оптимальное оценивание основано на минимизации целевой функции среднеквадратической ошибки

$$\xi = e^2[n]. \quad (2.2)$$

Значение вектора весовых коэффициентов, соответствующее минимуму ξ , находят согласно уравнению Винера-Хопфа:

$$W_N = R_N^{-1} \cdot r_N, \quad (2.3)$$

где R_N – автокорреляционная матрица входного сигнала, каждый элемент которой является произведением двух его отсчетов:

$$R_N = X_N \cdot X_N^T = \begin{bmatrix} x^2[k] & x[k] \cdot x[k-1] & \dots & x[k] \cdot x[k-N+1] \\ x[k-1] \cdot x[k] & x^2[k-1] & \dots & x[k-1] \cdot x[k-N+1] \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x[k-N+1] \cdot x[k] & x[k-N+1] \cdot x[k-1] & \dots & x^2[k-N+1] \end{bmatrix};$$

r_N – корреляционный вектор образцового и входного сигналов, каждый элемент

которого представляет собой произведение текущего отсчета сигнала $d[n]$ и одного из элементов X_N :

$$r_N = \{d[k] \cdot x[k], d[k] \cdot x[k-1], \dots, d[k] \cdot x[k-N+1]\}.$$

Поскольку на практике точные значения параметров R_N и r_N определить невозможно, то используют их оценки и упрощенные целевые функции.

При винеровском оценивании необходимо принять речевой и помеховый сигналы стационарными. Это позволяет выполнять оценки автокорреляционной матрицы R_N входного сигнала, а так же корреляционный вектор r_N образцового и входного сигналов, усреднёнными по времени. Это обеспечивает накопление значения ошибок, полученных на всех предыдущих n итерациях алгоритма.

Введение коэффициента забывания λ в целевую функцию минимизации (2.2)

$$\xi = \sum_{i=1}^k \lambda^{k-i} \cdot e^2[i], \quad (2.4)$$

позволяет регулировать вклад предыдущих ошибок на оценку для текущей итерации. Такой подход заложен в основу алгоритма рекурсивного метода наименьших квадратов.

2.2 Описание использованной программной модели шумоподавления

Для моделирования адаптивного шумоподавителя, использовалась разработанная программная модель в среде «Simulink». Структура модели представлена на рис. 2.2.

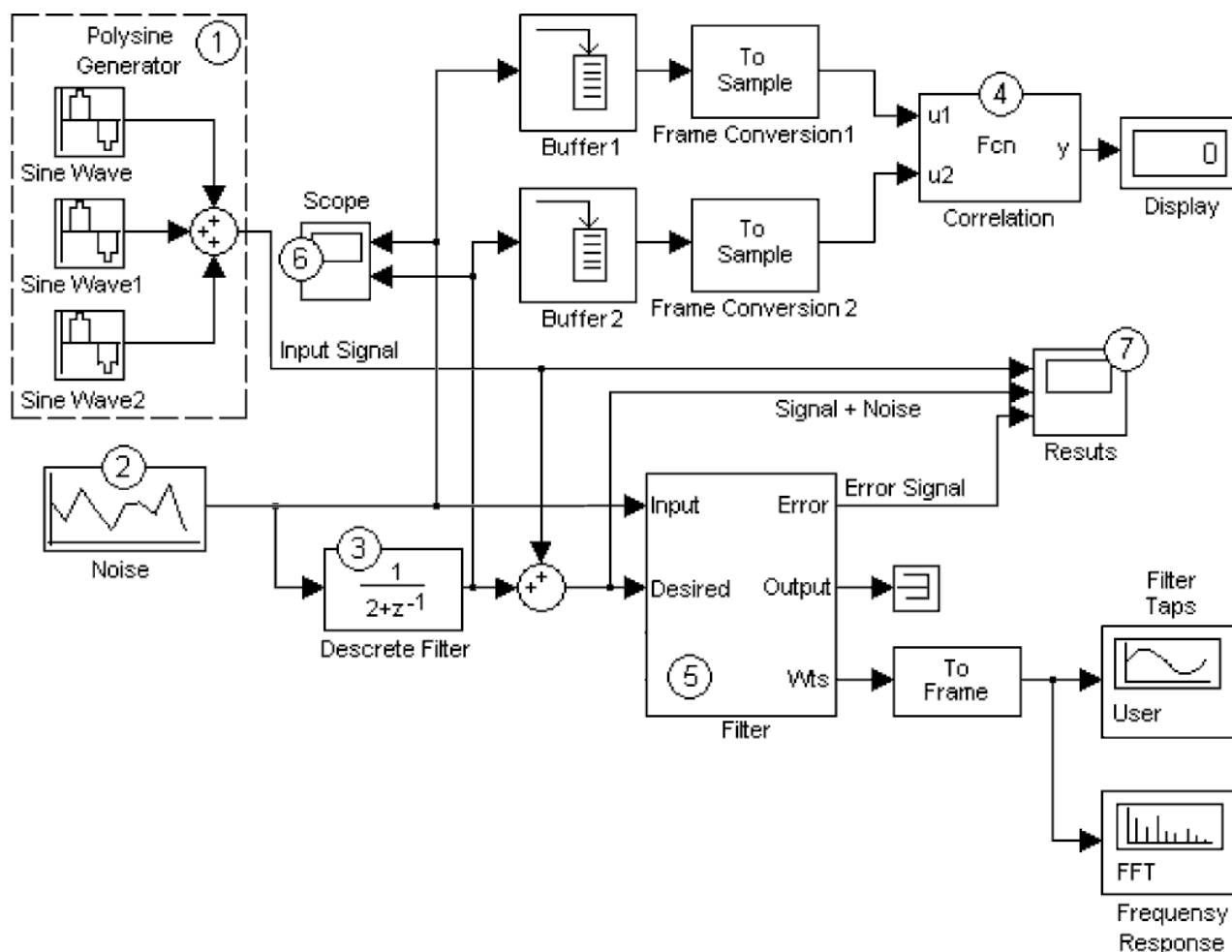


Рисунок 2.2 – Программная модель шумоподавления

Модель состоит из следующих смысловых блоков:

1) блок генерации полигармонического сигнала:

$$S(t) = \sum_{i=1}^k A_i \cdot \cos(\omega_i \cdot t + \varphi_i), \quad (2.5)$$

где k – количество используемых при том или ином моделировании гармонических сигналов частоты ω и начальной фазой φ ;

2) источник шума;

3) дискретный фильтр второго порядка, используемый для моделирования акустических преобразований шума при его распространении в направле-

нии первого микрофона с целью формирования отличия параметров шума' от шума в сигнале – см. рис. 1.2.;

4) блок вычисления коэффициента корреляции по формуле:

$$\rho = \frac{\text{cov}(s_1, s_2)}{\sigma_{s_1} \cdot \sigma_{s_2}}. \quad (2.6)$$

5) адаптивный фильтр, настраиваемый по требуемому алгоритму;

6) осциллограф;

7) средство построения требуемых зависимостей (в зависимости от выбранных критериев сравнения результатов адаптации фильтра).

2.3 Критерии сравнения алгоритмов адаптации фильтра

Критерии, по которым можно сравнить алгоритмы, должны учитывать как качество подавления помехи, так и сложность реализации алгоритма в реальной системе.

Критерием качества работы адаптивного алгоритма может служить коэффициент подавления помехи. Его определяют как разность отношений сигнал-шум (ОСШ) на выходе фильтра в установившемся режиме и на его входе:

$$\rho = \text{ОСШ}_{\text{вых}} - \text{ОСШ}_{\text{вх}}, \text{ дБ}, \quad (2.7)$$

Скорость сходимости алгоритма адаптации к наилучшему вектору весовых коэффициентов, определяемую числом итераций $K_{\text{уст}}$ вычисления весов до наступления установившегося режима. Этот критерий показывает, как быстро адаптивный алгоритм приспосабливается к заданным условиям.

Чтобы оценка вычислительной сложности не зависела от программной или аппаратной реализаций алгоритма адаптации, оценим её следующим обра-

зом. Проведём подсчет только векторных операций сложения и умножения, количество которых пропорционально размерности матриц и векторов. Одиночные операции сложения и умножения между парами чисел не учитываются. Более сложные операции подсчитываются отдельно. Операции считают для одной итерации алгоритма.

Поскольку все алгоритмы адаптации отличаются, по сути, только способами вычисления функции ошибки и расчёта весовых коэффициентов, то вычислительную сложность алгоритмов оценим следующим образом:

- умножение вектора на столбец требует N операций сложения и N операций умножения;
- умножение вектора на число требует N операций умножения;
- прибавление числа к вектору требует N операций сложения.

Вычислительная сложность алгоритмов приведена в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Вычислительная сложность алгоритмов

Алгоритм	Вычислительная процедура	Вычислительная сложность
МНК	$e[n] = d[n] - W_N^T(n-1) \cdot X_N(n),$ $W_N[n] = W_N[n-1] + 2 \cdot \mu \cdot X_N(n) \cdot e[n]$	$2 \cdot N$ сложений $2 \cdot N$ умножений
НМНК	$e[n] = d[n] - W_N^T(n-1) \cdot X_N(n),$ $W_N[n] = W_N[n-1] + \frac{2 \cdot \mu}{X_N^T(n) \cdot X_N(n)} \cdot X_N(n) \cdot e[n]$	$3 \cdot N$ сложений $3 \cdot N$ умножений 1 деление
РМНК	$G_N[n] = \frac{R_N^{-1}(n-1) \cdot X_N(n)}{\lambda + X_N(n) \cdot R_N^{-1}(n-1) \cdot X_N(n)}$ $R_N^{-1}(n) = \lambda^{-1} \cdot (R_N^{-1}(n-1) - G_N(n) \cdot X_N^T(n) \cdot R_N^{-1}(n-1))$ $e[n] = d[n] - W_N^T(n-1) \cdot X_N(n),$ $W_N[n] = W_N[n-1] + G_N(n) \cdot e[n],$	$2 \cdot N^2 + 3 \cdot N$ сложений $3 \cdot N^2 + 3 \cdot N$ умножений 1 деление

где $G_N[n]$ – вектор коэффициентов фильтра Калмана, являющийся, по существу, набором переменных шагов сходимости для каждого весового коэффициента.

2.4 Оценка эффективности алгоритмов адаптации

Для оценки эффективности алгоритмов адаптации с целью подавления шумов в речевом канале, был использован программный пакет MATLAB от MathWorks. На речевой сигнал накладывалась помеха и это входное воздействие пропусклось через адаптивные фильтры, настраивающиеся по различным алгоритмами.

В качестве помехи были использованы модели четырех сигналов:

- белый шум;
- розовый шум;
- синусоидальный сигнал;
- нестационарный сигнал.

Число весовых коэффициентов фильтра $N=16$.

Параметры сходимости приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2 – Вычислительная сложность алгоритмов

Алгоритм	Название параметра	Нормированная вычислительная сложность
МНК	шаг сходимости μ	0,01
НМНК	шаг сходимости μ	0,1
РМНК	коэффициента забывания λ	1

На рис. 2.3 приведены зависимости отношения сигнал/шум на выходе адаптивного фильтра от номера итерации n для разных алгоритмов при белом шуме на входе фильтра. Как видно, все алгоритмы сходятся почти с одинаковой скоростью, но МНК и НМНК – примерно к одному и тому же значению, а РМНК – к большему. Это иллюстрирует бóльшую эффективность при подавлении стационарных помех фильтром с рекурсивным алгоритмом настройки.

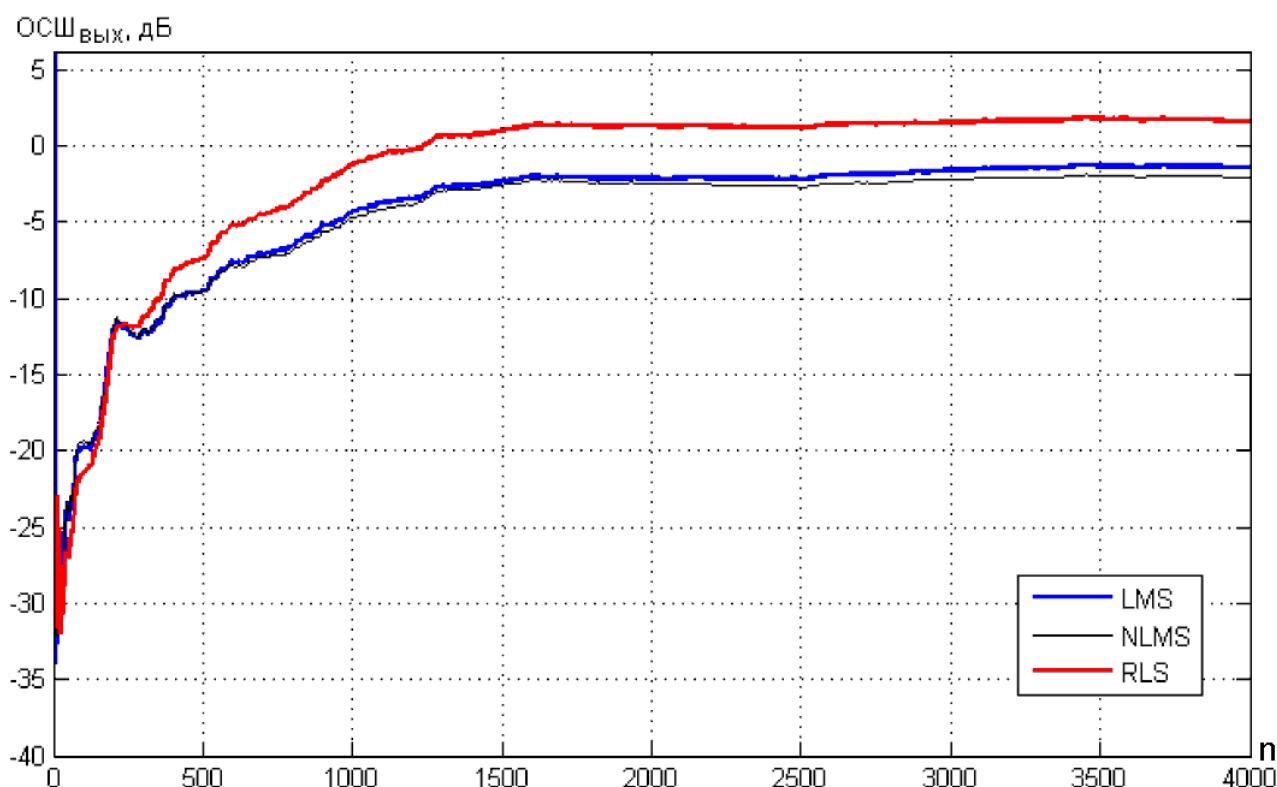


Рисунок 2.3 – Отношение сигнал/шум на выходе адаптивного фильтра для разных алгоритмов адаптации при белом шуме на его входе

В табл. 2.3 приведены результаты скорости сходимости и коэффициент подавления помехи в установившемся режиме.

Таблица 2.3 – Скорость сходимости и коэффициент подавления помехи в установившемся режиме

Алгоритм	МНК		НМНК		РМНК	
Помеха	$K_{уст}$	ρ , дБ	$K_{уст}$	ρ , дБ	$K_{уст}$	ρ , дБ
Белый шум	5701	6,12	6463	6,23	8897	8,81
Розовый шум	5670	1,23	3679	1,44	7423	1,62
Синусоидальный сигнал	7673	21,91	3327	19,76	более 20000	37,51
Нестационарный сигнал	более 20000	23,94	8183	15,78	—	—

Примечание: розовый (или фликкер-шум) имеет спектральную плотность мощности, обратно пропорциональную частоте. То есть, определяется формулой $1/f$, вследствие чего является равномерно убывающим в логарифмической шкале частот. Розовые шумы — это тип звука, в котором все октавы имеют одинаковую силу, или полностью согласованные частоты. Например, шум дождя, падающего на тротуар, или ветра, шелестящего листьями деревьев. Название этих шумов связано с тем, что свет с аналогичной спектральной плотностью имел бы розовый оттенок.

МНК оказывает бóльшую скорость сходимости на белом шуме, НМНК — на остальных. Наибольший коэффициент подавления — у алгоритма РМНК при первых трех типов шумов на входе. Этот же алгоритм показывает самую медленную сходимость.

Качество подавления у LMS- и NLMS-алгоритмов примерно одинаково. Также из табл. 2.3 видно, что наибольший коэффициент подавления соответствует синусоидальной помехе, а наибольшая скорость сходимости — розовому шуму.

На рис. 2.4 приведены зависимости отношения сигнал/шум на выходе адаптивного фильтра от номера итерации n для разных алгоритмов при нестационарной помехе на его входе: РМНК-алгоритм расходится и не достигает установившегося режима, а МНК-алгоритм сходится, но существенно медленнее, чем НМНК.

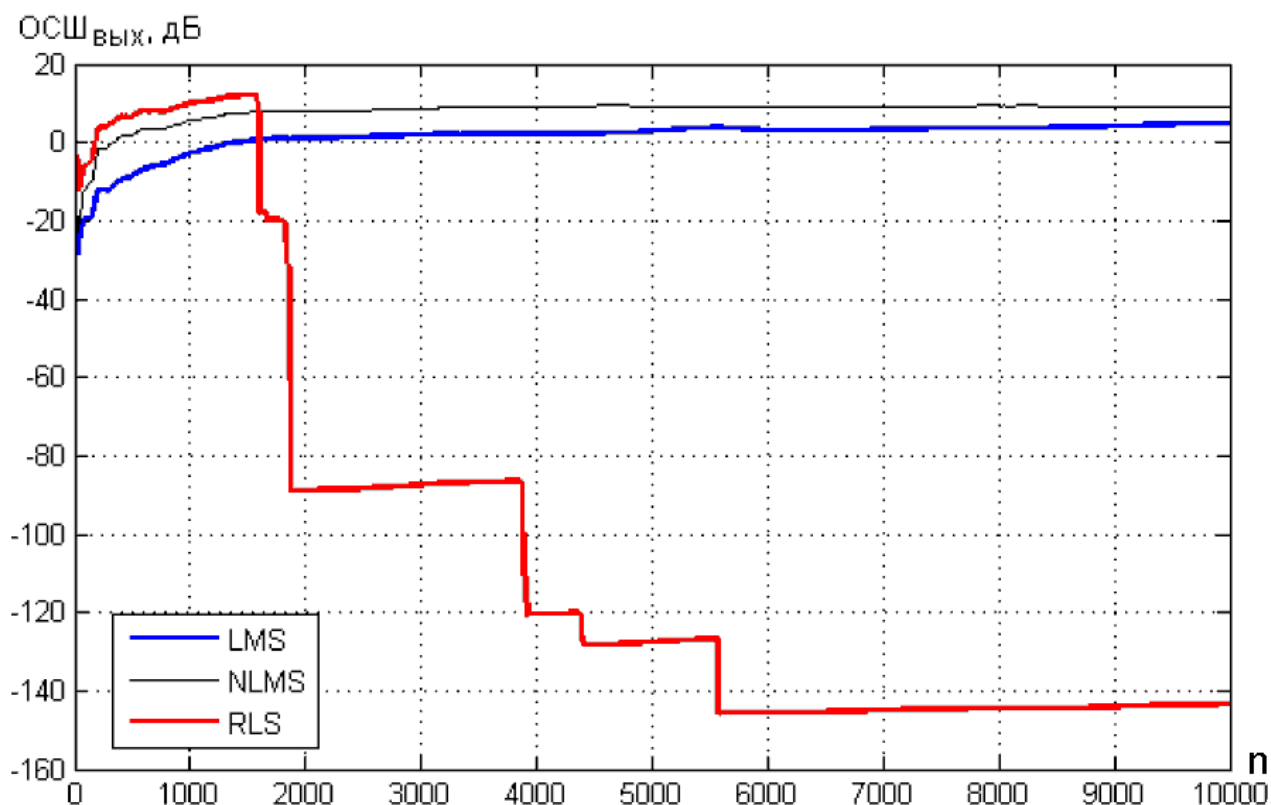


Рисунок 2.4 – Отношение сигнал/шум на выходе адаптивного фильтра для разных алгоритмов адаптации при нестационарной помехе на его входе

Для оценки влияния порядка фильтра на скорость процесса адаптации, на рис. 2.5 приведены зависимости выходного отношения сигнал/шум для рекурсивного алгоритма настройки по критерию минимума средних квадратов от количества весовых коэффициентов при воздействии белого шума. Видно, что с ростом порядка фильтра степень подавления помехи - улучшается. Однако, начиная с $N=32$, скорость сходимости падает. Следовательно, повышение по-

рядка фильтра не всегда будет оправданным. В результате моделирования получено, что этот вывод справедлив и для нереккурсивных алгоритмов.

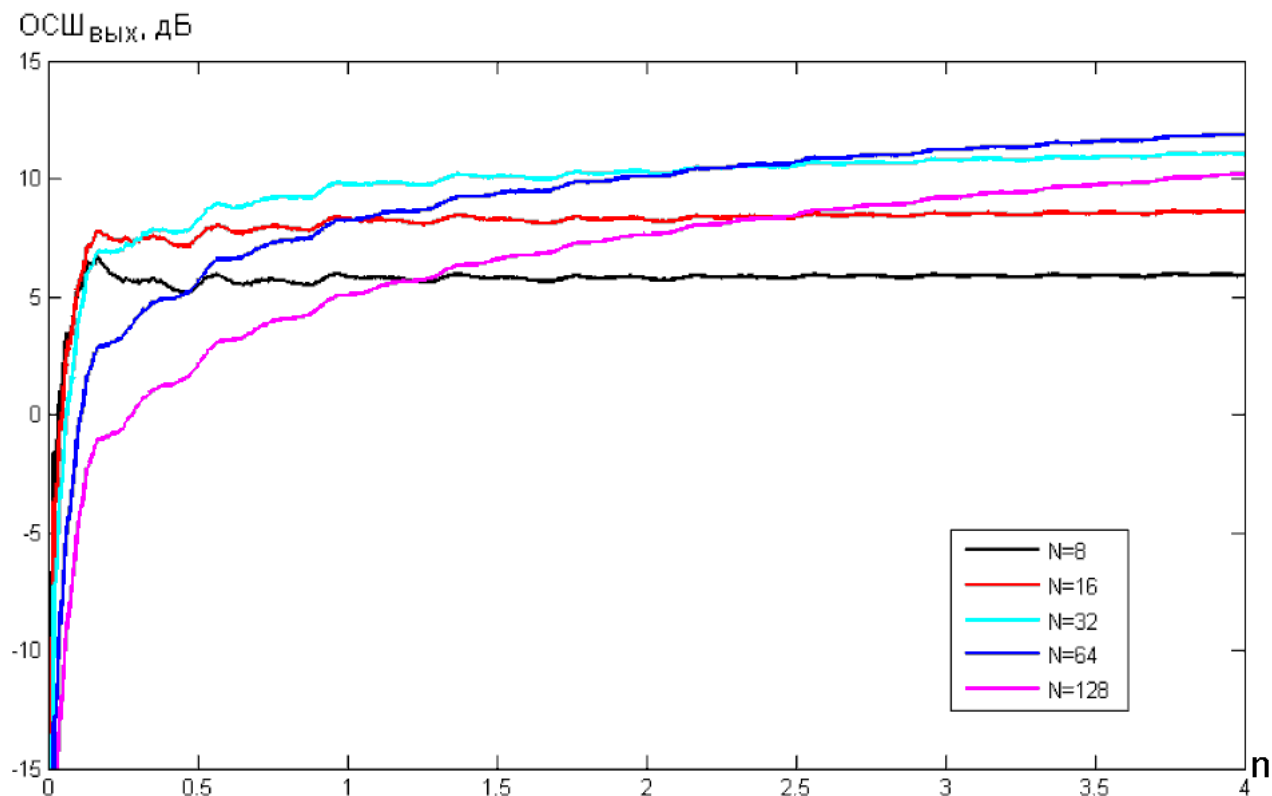


Рисунок 2.5 – Скорость процесса адаптации в зависимости от порядка фильтра N для РМНК-алгоритма

В реальных условиях (см. рис. 2.1) очень сложно исключить примесь полезного сигнала $x[n]$ в образце помехи $z'[n]$ (см. рис. 1.2), поэтому полезная составляющая может быть частично подавлена адаптивным фильтром. Для оценки зависимости уровня просачивания полезного сигнала на компенсационный вход от отношения сигнал/шум на выходе шумоподавляющей системы, было проведено моделирование. На рис. 2.6 приведены зависимости выходного отношения сигнал/шум от различных значений отношения сигнал/шум на компенсационном входе ОСШ_{обр} для НМНК-алгоритма. Здесь под сигналом понимается звуковой сигнал, а под шумом – образец помехи. В отсутствие просачи-

вания полезного сигнала на компенсационный вход шумоподавителя, результат фильтрации – наилучший. С появлением и усилением эффекта просачивания (с ростом $ОСШ_{обр}$) качество шумоподавления – падает. При этом, как видно из рис. 2.6, просачивание полезного сигнала на компенсационный вход фильтра не влияет на скорость сходимости алгоритма. В результате моделирования получено, что этот вывод справедлив и для нерекурсивных алгоритмов.

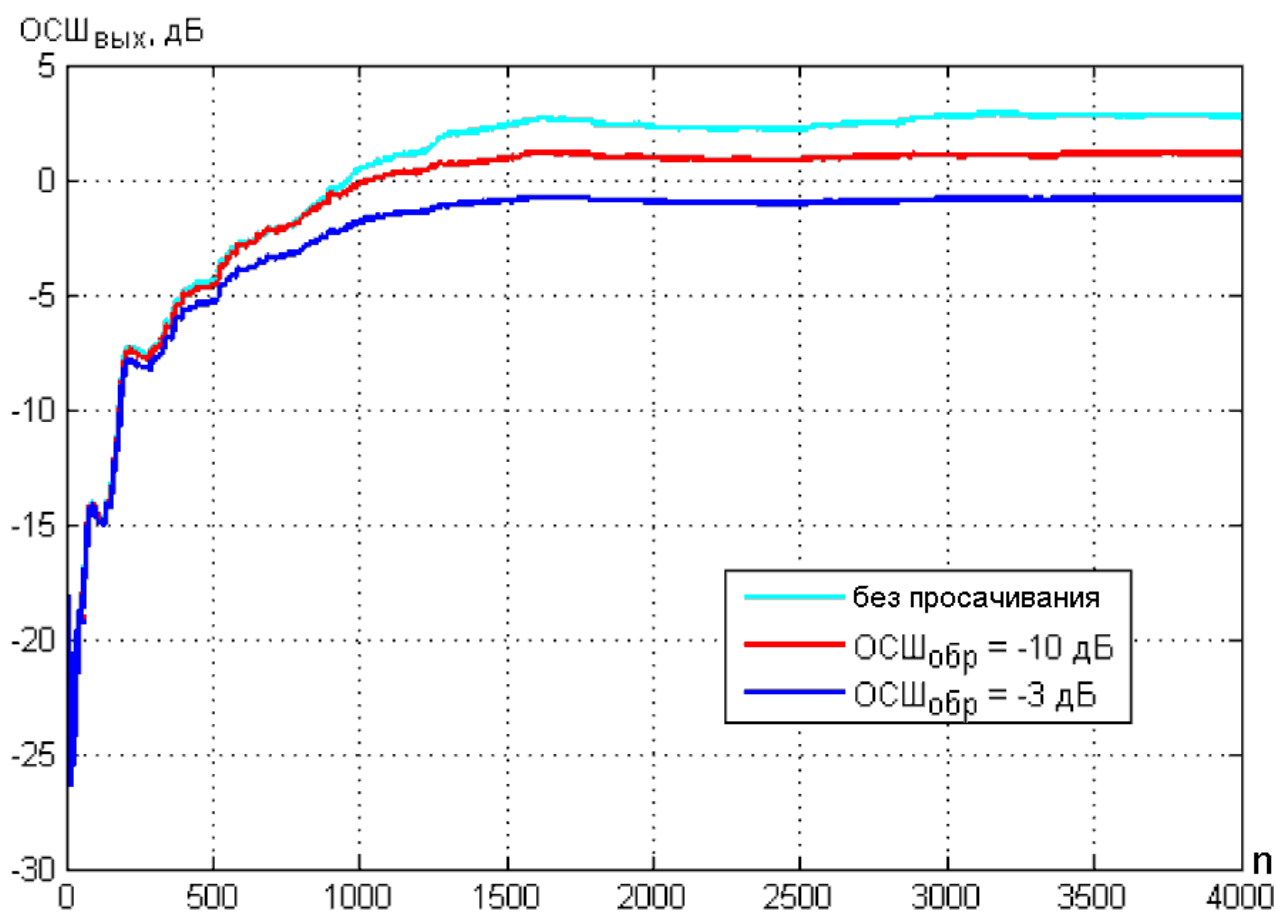


Рисунок 2.6 – Влияние уровня просачивания полезного сигнала на компенсационном входе на выходное отношение сигнал/шум для НМНК-алгоритма

Зависимость коэффициента корреляции от величины ошибки алгоритма адаптации оценивалась для трех значений размера адаптивного фильтра: 32, 64 и 128 весовых коэффициентов. Под ошибкой алгоритма понимается сумма

квадратов отклонений отфильтрованного сигнала от заданного при моделировании полезного сигнала. Полезный сигнал формировался в виде суммы трех синусоид с частотами 400, 600 и 800 Гц, на которую далее накладывался белый шум с амплитудой в 5 раз большей, чем амплитуда максимальной составляющей полезного сигнала. Акустические преобразования моделировались путём пропускания сформированной сигнально-шумовой смеси через низкочастотный фильтр.

Результаты моделирования приведены на рис. 2.7 и 2.8.

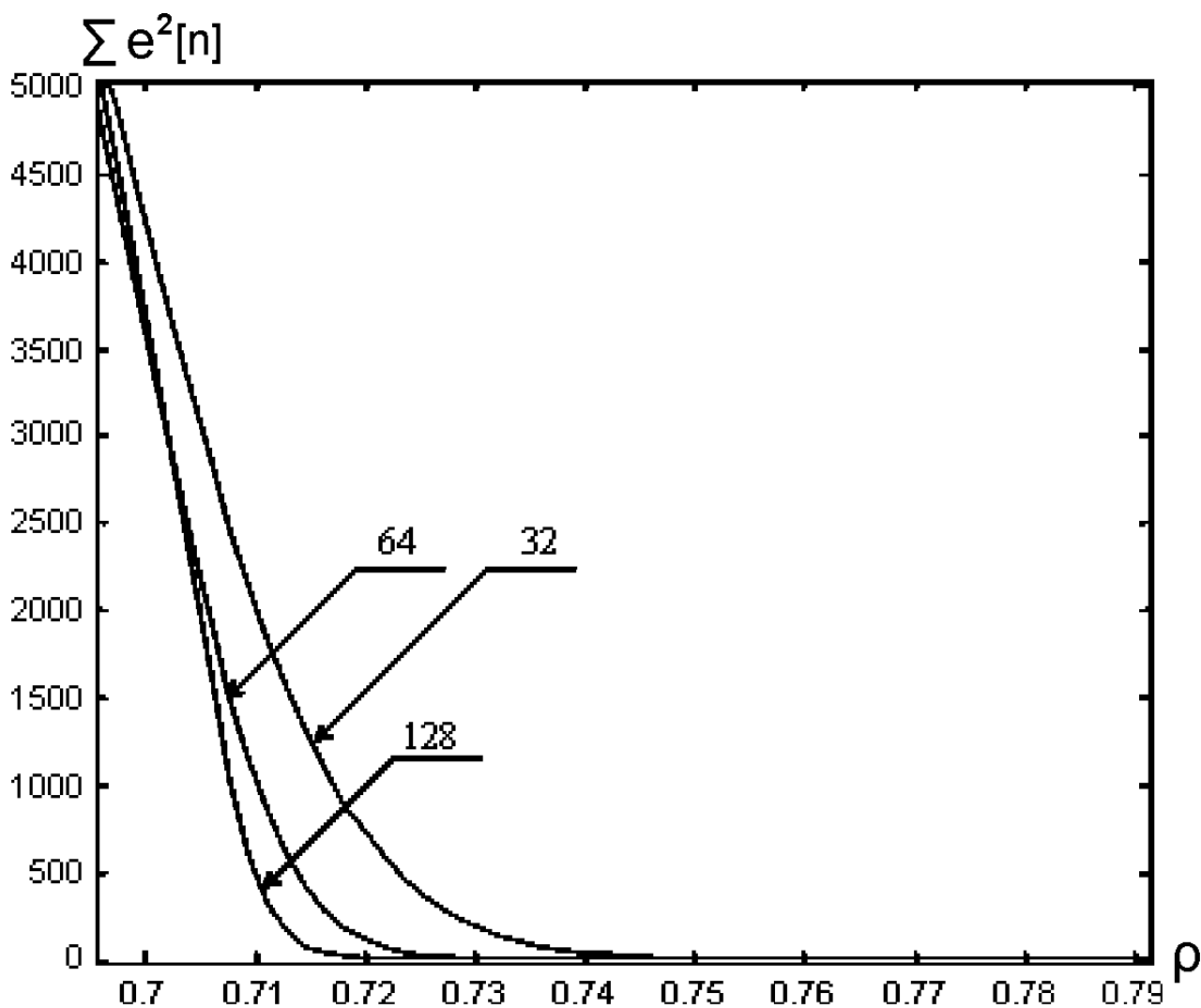


Рисунок 2.7 – Зависимость ошибки РМНК-алгоритма от коэффициента корреляции

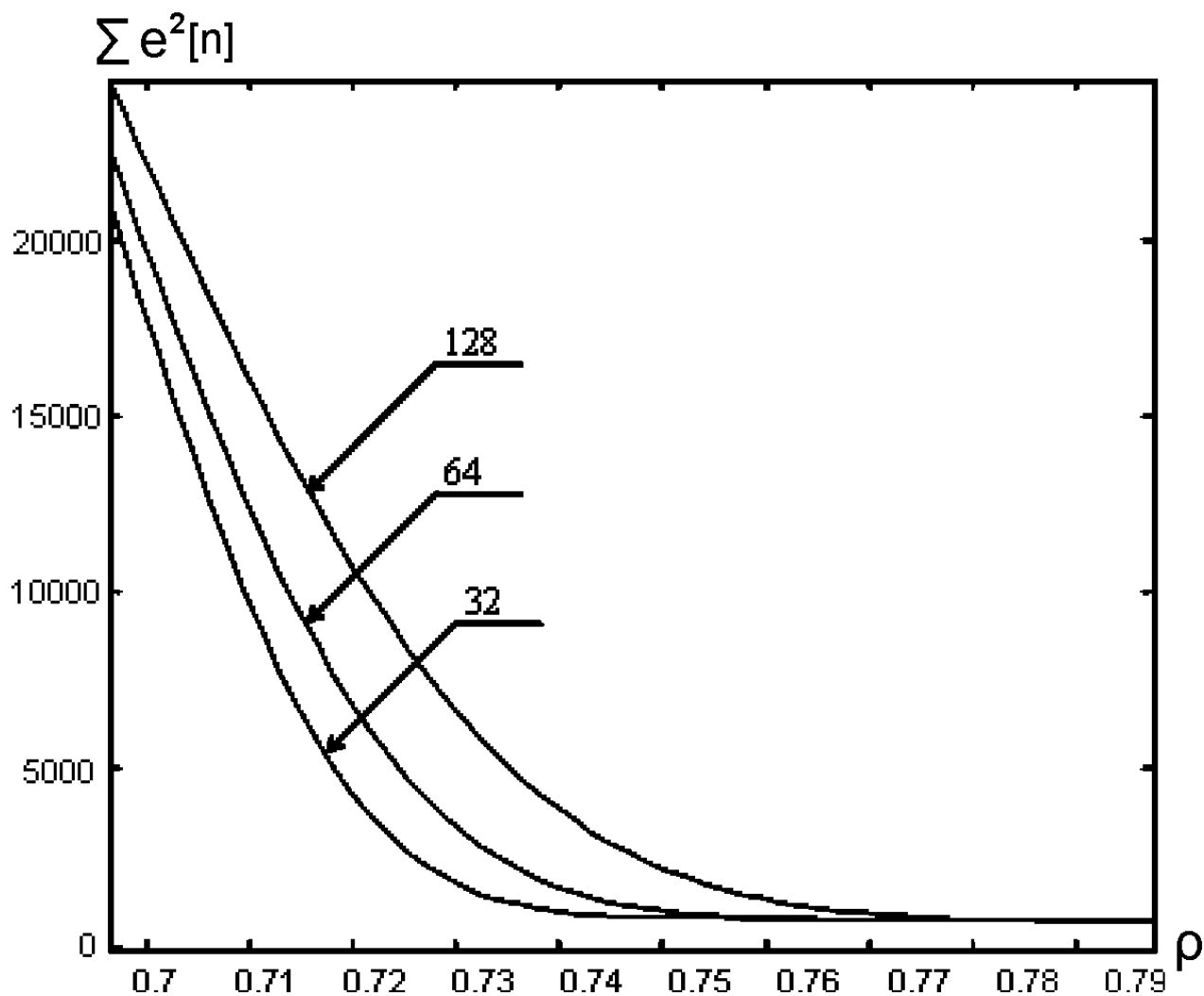


Рисунок 2.8 – Зависимость ошибки МНК-алгоритма от коэффициента корреляции

Как можно видеть из рис. 2.7, если шумовая составляющая сигнала и оценка шума сильно коррелированы (коэффициент корреляции ρ более 0,75), то РМНК-адаптация при любом размере фильтра имеет наименьшую ошибку (суммой квадратов отклонений отфильтрованного от исходного сигнала). В случае слабой корреляции ($\rho < 0,7$), результат настройки РМНК-алгоритма носит случайный характер.

Для МНК-алгоритма наблюдаются аналогичные закономерности (см.

рис. 2.8). Однако, ошибка настройки нерекурсивного алгоритма по сравнению с рекурсивным – существенно бóльшая. Следовательно, нерекурсивные алгоритмы настройки фильтра наименее пригодны для шумоподавления.

При этом, разница в зависимости точности настройки фильтра от его порядка (количества весовых коэффициентов) - не такая выраженная. Так, для рекурсивного алгоритма адаптации фильтра, видно (см. рис. 2.7), что несущественное увеличение точности настройки (например, с $\rho=0,71$ до $\rho=0,74$) достигается путём увеличения размера фильтра с 32 до 128 (то есть, в 4 раза). А поскольку вычислительная сложность алгоритма фильтрации выражается зависимостью N^2 , то достижение положительного эффекта сопровождается снижением производительности в 16 раз. Для нерекурсивного МНК-алгоритма увеличение порядка фильтра приводит только к увеличению ошибки фильтрации (см. рис. 2.8).

На основании проведенных исследований, можно сделать вывод о нецелесообразности применения МНК-алгоритмов для шумоподавления.

3 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

3.1 Планирование научно-исследовательских работ

Основное условие рационального планирования научно-исследовательской работы (НИР) – сокращение сроков выполнения разработок при минимальных затратах трудовых, материальных и денежных ресурсов.

Для этого необходимо решить следующие вопросы по планированию НИР: определение трудоемкости и длительности; составление календарного графика выполнения; определения затрат на проведение.

Весь комплекс научно-исследовательских работ можно подразделить на типичные этапы – таблица 3.1. При каждом этапе указываются исполнители и продолжительность выполнения работ.

Таблица 3.1 – Этапы работы

Номер этапа	Наименование этапа	Продолжительность дней	Содержание работы
1	2	3	4
1	Подготовительный	3	Уточнение проектного задания. Подбор и анализ литературы и аналогов
2	Выполнение теоретических разработок по теме	14	Составление методики исследований. Разработка теоретических вопросов

Продолжение таблицы 3.1

Номер этапа	Наименование этапа	Продолжительность дней	Содержание работы
3	Проведение расчетов на ПК	25	Выполнение расчетов. Внесение исправлений в расчетах
4	обобщение результатов	10	Обобщение полученных результатов
5	заключительный	4	Составление отчета, обсуждения его утверждения, оформления графического материала. Техно-экономические расчеты эффективности результатов исследований

Трудоемкость НИР рассчитывается в человеко-днях затрат рабочего времени основных исполнителей и зависит от сложности разработки и степени ее новизны, квалификации исполнителей, наличия у них навыков исследовательской работы, от используемых материалов, требований надежности, технических условий комплектующих схем и так далее.

Рассчитаем продолжительность этапов:

$$T_{\text{ц}} = \frac{Q}{R} \quad (3.1)$$

где $T_{\text{ц}}$ – продолжительность цикла, дни;

Q – трудоемкость работ, чел.-дни;

R – количество исполнителей, чел.

В результате получаем, что продолжительность всего процесса НИР занимает 56 дней. Результаты расчетов сводят в табл. 3.2.

Таблица 3.2 – Длительность этапов НИР

Этапы НИР	Трудоемкость		Исполнители		Продолжительность дней
	Люди- дни	% к вы- воду	Специалист	Количество людей.	
1	6	9.80	Специалист консультант	2	3
2	14	22.95	Специалист	1	14
3	25	40.98	Специалист	1	25
4	12	19.67	Специалист	1	10
5	4	6.60	Специалист консультант	2	4
Всего	61	100	–	2	56

В ряде случаев очень трудно установить общую трудоемкость проведенной НИР. Это связано с элементами неопределенности в процессе выполнения большинства работ. В таких случаях используют две или три вероятные оценки времени, даются ответственным исполнителям по каждому этапу работ.

Используя таблицу 3.2 можно построить календарный график выполнения НИР.

Наименование этапа	Календарный период, дни.												
	10.09. .-14.09.	17.09. .-21.09.	24.09. .-28.09.	01.10. .-05.10.	08.10. .-12.10.	15.10. .-19.10.	22.10. .-27.10.	29.10. .-03.11.	05.11. .-09.11.	12.11. 16.11.	19.11. 23.11.	26.11. -30.11.	
1. Подготовительный													
2. Выполнение теоретических разработок по теме													
3. Проведение расчетных исследований на ЭВМ													
4. Обобщение полученных результатов													
5. Заключительный													

	Консультант
	Специалист

Таблица 3.3 - График выполнения НИР

3.2 Расчет затрат на проведение НИР

Для определения денежных расходов на проведение научно-исследовательской работы составляют смету расходов по статьям:

- материалы за исключением возвратных отходов;
- амортизация оборудования;
- заработная плата основная и дополнительная;
- отчисления на социальное страхование;
- накладные расходы.

В стоимость материалов включаются затраты на материалы для проведения исследования (например бумага), а также для изготовления опытных образцов.

Рассчитаем стоимость основных материалов M_O по формуле:

$$M_O = (1 + K_{ТЗ}) \cdot \sum_{i=1}^n (\Pi_i \cdot N_i - \Pi_{i0} \cdot N_{i0}), \quad (3.4)$$

где $K_{ТЗ}$ – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы ($K_{ТЗ} = 0,1$)

Π_i – цена i -го наименования материала, грн;

N_i – необходимая потребность в материале i -го наименования;

Π_{i0} – цена возвратных отходов i -го наименования материала, грн;

N_{i0} – количество возвратных отходов i -го наименования материала;

n – количество наименований материалов.

Исходные данные и расчеты стоимости материалов занесем в таблицу 3.4.

Для расчета затрат на электроэнергию E используем формулу:

$$E = P_y \cdot \Phi_{ef} \cdot K_e \cdot C_e \cdot KKD, \quad (3.5)$$

где P_y – установленная мощность энергетических токоприемников оборудо-

вания, кВт;

$\Phi_{эф}$ – эффективный фонд времени работы данного вида оборудования, ч;

K_{ϵ} – коэффициент использования энергетических установок по мощности и времени ($K_{\epsilon} = 0,8$);

C_e – цена 1кВт · часа электроэнергии ($C_e = 2,11$ грн.);

$KKД = 0,8$.

Таблица 3.4 – Затраты на материалы

Материал	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, грн	Сумма затрат, грн
Бумага формата А4	шт.	1	130	130
Бумага формата А1	шт.	5	6.0	6.0
Картридж на принтер	шт.	1	100.0	100.0
Ручка	шт.	2	7.5	7.5
Карандаш	шт.	2	3.0	3.0
Ластик	шт.	1	1.5	1.5
Всего				282.5
Транспортно-заготовительные расходы				28.25
Всего				310.75

Расчеты использования электроэнергии приведены в таблице 3.5

Таблица 3.5 – Расчет стоимости энергоресурсов

Наименование	Вид энергоресурсов	Установленная мощность, кВт	Продолжительность, час	Тариф за кВт час, грн	Стоимость энергоресурсов, грн
Компьютер	Енергия	0.2	200	2.11	54.02
Принтер	Енергия	1.5	3		6.08
Всего					60.10

К специальному оборудованию относится такое оборудование, которое используется только для проведения отдельной исследовательской работы. Стоимость специального оборудования для проведения НИР определяется на основании их количества, цен по прейскурантам. Результаты расчета занесены в таблицу 3.6.

Таблица 3.6 – Расчет стоимости спецоборудования

Оборудование	Марка	Количество	Цена за единицу, грн	Стоимость, грн
Ноутбук	Asus F5	1	10050	10050
Принтер	Canon MP250	1	3150	3150
Всего				13200

Рассчитаем сумму амортизационных отчислений. Балансовая стоимость компьютера и принтера состоит из стоимости компьютера и принтера, и оплаты транспортировки этого оборудования в офис.

Так как основная работа проводится на компьютере, рассчитаем для него амортизационные отчисления. Цена оборудования – 10050 грн. Норма амортизационных отчислений составляет $H_a = 25\%$. Эффективный фонд работы компьютера 1800 часов. Из них по теме 200 часов.

Аналогично для принтера, работавший по теме 3:00 и цена которого 3150 грн.

Результаты расчета занесены у таблицу 3.7.

Таблица 3.7 – Расчет суммы амортизационных отчислений

Наименование	Балансовая стоимость, грн.	Норма амортизации, %	Занятость оборудования, ч	Годовой эффективный фонд времени, ч	Сумма, грн.
Компьютер	10050	25	200	1800	279.17
Принтер	3150	25	3		1.31
Всего					280.48

Рассчитаем заработную плату всех категорий работников, непосредственно занятые в процессе проведения всех этапов НИР. Сумма заработной платы рассчитывается на основе занятости исполнителей по отдельным этапам работ и среднедневного заработка для каждой категории персонала. Результаты расчета занесены в таблицу 3.8.

Таблица 3.8 – Заработная плата

Должность	Месячный оклад, грн	Количество исполнителей	Занятость ГДР мес.	Зарплата, грн
Специалист	8000	1	2.5	20000.00
Консультант	10000	1	0.25	2500.00
Всего	—	2	-	22500.00

Сумма по основной заработной плате составляет 22500,00 грн. Дополнительная плата принимается 10% от основной заработной платы, составляет 2250,00 грн. Итоговая сумма заработной платы составляет 24750,00 грн .

Отчисления на ЕСВ – 22% (5445,00 грн.).

Составим смету всех расходов, результаты расчета занесем в таблицу 3.9.

Таблица 3.9 – Смета расходов на выполнение НИР

Вид расходов	Сумма расходов, грн	Процент расходов, %
Основные материалы	310,75	0,48
Амортизационные отчисления	280,48	0,43
Энергоносители	60,10	0,09
Основная заработная плата	22500,00	34,83
Дополнительная заработная плата	2250,00	3,48
Отчисления на ЕСВ	5445,00	8,43
Накладные расходы (150% от основной заработной платы)	33750,00	52,23
Всего	64596,33	100
НДС (20%)	12919,27	20
Всего	77515,60	120

В результате получили, что сумма всех расходов, необходимых для проведения

НИР, составляет 77515,60 грн.

3.3 Расчет экономической эффективности НИР

Эффективность прикладных НИР определяется, как сопоставление годового экономического эффекта от применения результатов расчетных исследований в условиях производства и использованных капиталовложений для осуществления исследований и внедрения их в производство.

$$E_{\text{фак}} = \frac{\text{Економ.ефект}}{\text{Капіталовк ладення}} . \quad (3.6)$$

Сопоставляя фактическую экономическую эффективность с нормативной, ($E_n=0,15$), делается вывод о целесообразности исследований. Если $E_{\text{фак}} >$ або $= E_n$ то исследования признаются экономически эффективными. В обратном случае исследования не следует выполнять, потому что экономическая выгода от таких исследований мал. Экономическую эффективность исследований можно оценить по сроку окупаемости затрат на их проведение и воплощение.

$$T_{\text{ок}}^{\text{фак}} = \frac{\text{Капіталовк ладення}}{\text{Економ.ефект}} . \quad (3.7)$$

Фактический срок окупаемости капиталовложений сопоставляется с нормативным сроком окупаемости капиталовложений, принятый для промышленности (примерно 6 (6) лет), и на основе сравнения делается вывод о целесообразности исследований.

Для теоретических исследований в большинстве случаев трудно или даже невозможно рассчитать экономический эффект, поэтому целесообразно определить их технико-экономической эффективности с учетом следующих показателей:

- важность исследования;
- сложности разработки;
- результативности и возможности использования.
- важность теоретического исследования оценивают по его назначению:
- решение проблемных вопросов;
- удовлетворение требований специальной техники; поиск принципиально новых конструктивных и технологических решений и т.п.

Сложность выполнения работы определяют сравнением полученных ре-

зультатов данного исследования с результатами известных аналогичных исследований с учетом денежных и трудовых затрат на их проведение.

Результативность НИР можно определить по полноте решений поставленной задачи: полученный результат соответствует плановому, удовлетворительное (частичное решение) или отрицательный.

Анализ зависимости между этими показателями и расходами на их достижение дает возможность количественной оценки технико-экономической эффективности теоретических НИР по формуле:

$$K_{\text{НДР}} = \frac{J^n \cdot R \cdot T}{B_{\text{НДР}} \cdot t_{\text{НДР}}}, \quad (3.8)$$

где $K_{\text{НДР}}$ – уровень эффективности исследования (коэффициент технико-экономической эффективности НИР)

$J = 2$ – важность работы;

$R = 1,5$ – результативность работы – рассчитаны основные характеристики и проведена ее оптимизация;

$T = 3$ – Техническая сложность выполнения НИР

$B_{\text{НДР}} = 77,515$ тыс. грн – расходы на проведение НИР;

$t_{\text{НДР}} = 56$ дней - время проведения НИР;

$n = 2$ – показатель использования результатов НИР

При значении $K_{\text{НДР}} \geq 1$ исследовательская работа считается эффективной.

Итак, рассчитаем $K_{\text{НДР}}$:

$$K_{\text{НДР}} = (2^2 \cdot 1,5 \cdot 3) / (77,515 \cdot 0,224) = 1,03$$

После расчета (3.8) получим уровень эффективности исследования $K_{\text{НИР}} = 1,03$. Это более 1, поэтому делаем вывод, что данная исследовательская работа является эффективной.

4 ОХРАНА ТРУДА И БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ

4.1 Анализ потенциальных опасностей

Поскольку тема дипломного проекта «Способы организации передачи данных видеоконтроля пространственно-разнесенных объектов» предусматривает проведение работ в помещении, оборудованном персональными компьютерами с визуальными дисплейными терминалами, необходимо рассмотреть мероприятия по обеспечению безопасности, производственной санитарии, гигиене труда и пожарной безопасности для помещения с персональными компьютерами.

На основе изучения и анализа, существующих и вновь разрабатываемых технологических процессов и применяемого оборудования, согласно ГОСТ 12.0.003-74 (1999) «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация», выявляются опасные производственные факторы, воздействие которых на работающих может привести к ухудшению условий труда или травматизму. Рабочее место представляет собой набор различной компьютерной техники с визуальными дисплейными терминалами и периферией. Опасность в ходе работ будет заключаться при использовании источников питания, генерирующих устройств, подключении и отключении приборов с помощью вилок, розеток, переходных устройств, удлинителей.

Основные опасные производственные факторы, связанные с работой:

- поражение электрическим током из-за повышенного значения напряжения в электрической цепи или пробоя изоляции, замыкание которого может произойти через тело человека и привести к травме или летальному исходу;
- воздействие электрического поля из-за повышенной напряженности электрических полей, вследствие чего нарушаются физиологические функции: ритм сердечных сокращений, уровень кровяного давления, активность мозга, ход обменных процессов и иммунная активность;

- воздействие электромагнитного излучения из-за повышенного уровня электромагнитных излучений, что приводит к расстройству центральной нервной системы и заболеваниям сердечно-сосудистой системы;

- прохождение электрического разряда из-за повышенного уровня статического электричества и провоцирование рефлекторного движения человека, что в ряде случаев может привести к резкому движению и травме.

Санитарно - гигиенические опасные производственные факторы, связанные с работой:

- ухудшение самочувствия человека из-за повышенной или пониженной температуры воздуха рабочей зоны, вследствие нарушения обменных процессов в организме и возникновения различных острых и хронических простудных заболеваний соответственно;

- попадание в легкие и на слизистые оболочки пыли, из-за повышенной запыленности воздуха рабочей зоны и провоцирование аллергических заболеваний органов зрения и дыхания;

- зрительное утомление и боль в глазах, из-за недостаточной освещенности рабочей зоны, которые приводят к снижению внимания и возможности травмирования;

- повреждение органов слуха и раздражение повышенным уровнем шума на рабочем месте вследствие чего происходит снижение остроты слуха, нарушается функциональное состояние сердечно-сосудистой и нервной систем;

- умственное перенапряжение, перенапряжение анализаторов и эмоциональные перегрузки из-за несоблюдения режима работы за ПК, что приводит к повышению утомляемости, снижению внимания и, как следствие, к возможности травмирования трудящегося;

- риск для здоровья и жизни персонала из-за несоблюдения правил противопожарной безопасности, что может привести к травмам, летальному исходу и материальным потерям;

- получение травм и материальных потерь из-за неправильного поведения персонала при ЧС.

4.2 Мероприятия по обеспечению безопасности

Техника безопасности – система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих воздействие опасных производственных факторов.

При работе с измерительной техникой, персональными компьютерами и периферийными устройствами, главным опасным фактором является электричество.

Поражение электрическим током может привести к смерти или потере работоспособности.

Основные причины несчастных случаев от воздействия электрического тока:

- случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям, находящимся под напряжением;
- появление напряжения прикосновения на конструктивных металлических частях электрооборудования в результате повреждения изоляции;
- появление напряжения на отключенных токоведущих частях, на которых работают люди, вследствие ошибочного включения установки.

Электрические установки, к которым относится практически все оборудование ЭВМ, представляют для человека большую потенциальную опасность, так как в процессе эксплуатации или проведении профилактических работ человек может коснуться частей, находящихся под напряжением. Специфическая опасность электроустановок: токоведущие проводники, корпуса стоек ЭВМ и прочего оборудования, оказавшегося под напряжением в результате повреждения (пробоя) изоляции, не подают каких-либо сигналов, которые предупреждают человека об опасности. Реакция человека на действие тока возникает лишь при протекании его через тело человека. При этом через тело человека проходит электрический ток, который вызывает термическое, электролитическое, механическое и биологическое воздействие.

Согласно ПУЭ "Правилам устройства электроустановок" и НПА ОП

40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» помещение, в котором находятся устройства, относится к помещениям без повышенной опасности поражения электрическим током.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности разработаны в соответствии с ГОСТ 12.1.009-76 (1999) «Электробезопасность. Термины и определения» и ГОСТ 12.1.030-91 ССБТ «Электробезопасность. Защитное заземление, зануление». Сеть электропитания включается и выключается при помощи пусковой аппаратуры (рубильником).

Для предотвращения поражения человека от воздействия электрического тока используется защитное заземление сопротивлением не более 4 Ом. Современная измерительная аппаратура и стендовое оборудование включаются в розетку с помощью трехполюсной вилки, один из полюсов которой служит для заземления. С ним электрически соединены металлические нетоковедущие части оборудования, которые могут оказаться под напряжением. В лаборатории используются только трехполюсные розетки, у которых соответствующий полюс соединен с шиной заземления.

Условия электробезопасности зависят от параметров окружающей среды, таких как влажность, температура, наличие токопроводящей пыли, материал пола. Для лаборатории выбрано помещение с токонепроводящим полом, без заземленных металлических конструкций. Для обеспечения нужных характеристик воздушной среды предусмотрена вентиляция и очистка воздуха.

Все токоведущие части измерительной аппаратуры и стендового оборудования изолированы, а шнуры питания выполнены из проводов в двойной изоляции.

Разрядные токи статического электричества чаще всего возникают при прикосновении к любому из элементов ЭВМ. Такие разряды опасности для человека не представляют, но кроме неприятных ощущений, они могут привести к выходу из строя ЭВМ. Для защиты от статического электричества согласно ГОСТ 12.4.124-83 «Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования» предусмотрено экранирование источника стендового

питания.

Для снижения величины возникающих зарядов статического электричества в лаборатории используется покрытие технологических полов из однослойного поливинилхлоридного антистатического линолеума. К общим мерам защиты от статического электричества в помещении также относится общее и местное периодическое увлажнение воздуха.

4.3 Мероприятия по промсанитарии и гигиене труда

На человека в процессе его трудовой деятельности могут также воздействовать и вредные (вызывающие заболевания) производственные факторы. Для снижения или нейтрализации их воздействия вводят следующие мероприятия.

Мероприятия по оздоровлению воздушной среды планируются в соответствии со значениями оптимальных метеорологических параметров, установленными ГОСТ 12.1.005-76 «Воздух рабочей зоны» и санитарными нормами СН512-72 «Инструкция по проектированию зданий и помещений для электронно-вычислительных машин» (см. таблицу 4.1). Для обеспечения этих значений метеорологических параметров и чистоты воздуха в помещении предусматривается вентиляция, разработанная согласно ДБН Д.2.6-3-2000 Сборник №3 «Системы вентиляции и кондиционирования воздуха».

Предусматривается очистка воздуха, используемого для вентиляции. Очистка необходима не только для предотвращения негативного воздействия пыли на здоровье работающих, но и потому, что пыль, оседая на микросхемах и других частях измерительной техники, ведет к выходу ее из строя и уменьшению ремонтпригодности. Вентиляция, охлаждение и очистка воздуха осуществляются бытовыми кондиционерами, установленными в окнах.

Таблица 4.1 – Оптимальные значения метеорологических параметров

Название параметра	Оптимальные значения
Температура	20 – 22 °С в холодный период, 20 – 24°С в теплый период
Относительная влажность	40-60 %
Скорость движения воздуха	не более 0.2 м/с в холодный период, не более 0.3 м/с в теплый период

С целью обеспечения нужной температуры в холодное время года предусмотрено отопление помещения и нагрев воздуха, используемого для вентиляции согласно ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

Пыль может оказывать на человека фиброгенное воздействие, при котором в легких происходит разрастание соединительных тканей, которое нарушает нормальное строение и функцию органа.

Основным направлением в комплексе мероприятий по борьбе с пылью является предупреждение ее образования или поступления в воздух рабочих помещений. Важнейшее значение в этом направлении имеют мероприятия технологического характера. Технологические процессы, соответствующие ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны», по возможности проводятся таким образом, чтобы образование пыли было полностью исключено, или, по крайней мере, сведено до минимума. С этой целью нужно максимально заменять сухие пылящие материалы влажными, пастообразными, растворами и обработку их вести влажным способом. При невозможности полного исключения пылеобразования, необходимо, путем соответствующей организации технологического процесса и использования соответствующего технологического оборудования, не допускать выделения пыли в воздух рабочих помещений. Это достигается, главным образом, путем организации непрерывного технологического процесса в полностью герметичной или,

по крайней мере, максимально закрытой аппаратуре и коммуникациях.

К освещенности помещения предъявляются высокие требования, связанные с явным преобладанием зрительной информации (до 90% общего объема) при работе с ЭВМ и периферийным оборудованием.

Предусматривается использование как естественного, так и искусственного освещения согласно ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення». Естественное освещение – боковое, одностороннее, светопроемы с северной ориентацией. Рабочие места операторов, работающих с дисплеями, располагают на наибольшем возможном расстоянии от окон таким образом, чтобы оконные проемы находились сбоку. Предусматривается снабжение окон светорассеивающими шторами.

Размеры электронно-вычислительного зала: А - 7м; В - 4,5м; Н - 3,5м; h_p - 0,8м. В зале минимальное количество пыли, светоотражающий цвет потолка, стен, пола соответственно: $\rho_{\text{пот}}$ - 70%, $\rho_{\text{ст}}$ - 50%, $\rho_{\text{пол}}$ - 30%.

Для разряда зрительной работы III_а произведем расчет общей искусственной освещенности при нормированной освещенности E_n – 200лк.

Для данного помещения выбран тип ламп – ЛДЦ-30, тип светильника – ЛПО (с параметром [L/h] – 1,4; на две лампы), коэффициент неравномерности минимальной освещенности Z – 1.10, коэффициент запаса k_3 – 1,4.

Произведем расчет индекса помещения i

$$i = \frac{A \times B}{h \times (A + B)} = \frac{7 \times 4,5}{2,7 \times (7 + 4,5)} = 1,01. \quad (4.1)$$

Найдем значение максимально допустимого расстояния между рядами (L_{max}) и количество рядов светильников в помещении (N_p).

$$N_p = \frac{B}{(H - h_p) \times [L/h]} = \frac{4,5}{(3,5 - 0,8) \times 1,4} = 1,19 \approx 2, \quad (4.2)$$

$$L_{\text{max}} = \frac{B}{N_p} = \frac{4,5}{2} = 2,25 \text{ м}. \quad (4.3)$$

Выбираем количество рядов $N_p - 2$.

По индексу помещения, по значениям коэффициентов отражения поверхностей, типу светильника и источнику света выбираем коэффициент использования светового потока $\eta - 43\%$.

Произведем расчет требуемого светового потока лампы ($\Phi_{\text{л}}$) и количества светильников в помещении (N).

Найдем суммарный световой поток в данном помещении.

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \times S \times k_3 \times z}{\eta} = \frac{200 \times 31,5 \times 1,4 \times 1,10}{0,43} = 22560 \text{ лм} . \quad (4.4)$$

Условное количество светильников согласно формулы:

$$N^* = \frac{A \times B}{L_{\text{max}}^2} = \frac{7 \times 4,5}{2,25^2} = 6,22 . \quad (4.5)$$

Световой поток условного модуля света:

$$\Phi_{\text{л}}^* = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N^* \times n} = \frac{22560}{6,22 \times 2} = 1813 \text{ лм} . \quad (4.6)$$

Для ламп ЛДЦ30 мощность $P_{\text{л}} - 30\text{Вт}$, световой поток $\Phi_{\text{л}} - 1500 \text{ лм}$ найдем реальное количество ламп в условном модуле света (m) и фактическое количество ламп в помещении (N).

$$m = \frac{\Phi_{\text{л}}^*}{\Phi_{\text{л}}} = \frac{1813}{1500} = 1,2 , \quad (4.7)$$

$$N_{\text{л}} = N^* \times n \times m = 6,22 \times 2 \times 1,2 = 14,9 . \quad (4.8)$$

Таким образом в данном помещении устанавливаем 8 светильников

ЛПО по 4 в каждом ряду.

Выбираем реальное количество ламп $N_{\text{л}} - 16$ шт.

Определим общую расчетную освещенность (E_p) при использовании стандартных ламп:

$$E_p = \frac{\Phi_{\text{л}} \times N_{\text{л}} \times \eta}{S \times k_z \times z} = \frac{1500 \times 16 \times 0,43}{31,5 \times 1,4 \times 1,10} = 212,7 \text{ лк} \quad (4.9)$$

Расчетная освещенность должна соответствовать условию:

$$E_p = (-10 \dots +20 \%) E_{\text{н}} \quad (4.10)$$

То есть находиться в пределах 180.....240 лк, следовательно, расчеты выполнены верно.

Произведем расчет мощности осветительной установки P_{Σ}

$$P_{\Sigma} = N \cdot P_{\text{л}} = 16 \cdot 30 = 480 \text{ Вт} \quad (4.11)$$

Светильники включаются последовательно в зависимости от величины естественной освещенности.

Шум в определённых условиях может оказывать значительное влияние на здоровье и поведение человека. Шум может вызывать раздражение и агрессию, артериальную гипертензию (повышение артериального давления), тиннитус (шум в ушах), потерю слуха.

Уровни звукового давления в октавных полосах частот 250–4000 Гц не должны превышать значений, установленных Санитарными нормами допустимых уровней шума на рабочих местах № 3223-85 «Санитарные нормы допустимых уровней шума на рабочих местах» и ГОСТ 12.1.003-88 «Шум. Общие требования безопасности».

Снижение шума и вибрации, воздействующих на человека, осуществляется следующими мероприятиями:

- применением звукоизолирующих устройств, для изоляции шумных агрегатов;
- выбором рационального режима труда и отдыха, сокращением времени нахождения в шумных условиях.

Работа с измерительной аппаратурой и стендовым оборудованием сопряжена с нервно-психическими перегрузками, которые связаны с умственным перенапряжением, перенапряжением анализаторов (особенно зрительных), монотонностью труда, эмоциональными перегрузками. Для уменьшения влияний этих факторов предусматриваются пятнадцатиминутные перерывы через каждый час работы, согласно СанПиН 2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы».

Также влияет на организм человека воздействие электромагнитных полей. Проявляется это влияние в функциональном расстройстве центральной нервной системы, субъективные ощущения при этом – повышенная утомляемость, головные боли и т.п. В результате длительного пребывания в зоне действия электромагнитных полей наступают преждевременная утомляемость, сонливость или нарушение сна, появляются частые головные боли, наступает расстройство нервной системы и др.

Основные меры защиты от воздействия электромагнитных излучений в соответствии с ГОСТ 12.1.002-84 ССБТ «Электрические поля промышленной частоты. Допустимые требования напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах» и ГОСТ 12.1.019-79 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»:

- уменьшение излучения непосредственно у источника (достигается увеличением расстояния между источником направленного действия и рабочим местом, уменьшением мощности излучения генератора);

– экранирование источников излучения и рабочих мест (применение отражающих заземленных экранов в виде листа или сетки из металла, обладающего высокой электропроводностью – алюминия, меди, латуни, стали)

Периодически проводится проверка технического состояния экранирующих комплектов. Результаты проверки регистрируются в специальном журнале.

Для предостережения от выше сказанных опасностей необходимо соблюдать правила по технике безопасности.

Помещение представляет собой лабораторию, в которой используются измерительная техника и ЭВМ. Спроектирована согласно СНиП 2.04.05-91 «Строительные нормы. Отопление, вентиляция и кондиционирование» и СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания». При учете требований НАПБ А.01.001-2004 «Правила пожарной безопасности Украины» и оборудована согласно ДСТУ ГОСТ 12.2.061:2009 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам».

Поскольку площадь помещения составляет $S_{пп} = 31,5 \text{ м}^2$, а площадь, на которой располагается одно рабочее место с ВДТ, согласно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» должна составлять не менее $6,0 \text{ м}^2$, то в данном помещении можно разместить максимум пять компьютеризированных рабочих мест. Такого количества достаточно для технического оборудования производства.

Проверим, соответствует ли это число нормативу минимального объема помещения на одно рабочее место с ВДТ, согласно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» ($V_{P.M.Min} = 20 \text{ м}^3$). Объем помещения составляет $110,25 \text{ м}^3$, а объем, приходящийся на одно компьютеризированное рабочее место - $V_{P.M.} = 27,56 \text{ м}^3$. Таким образом, норматив объема помещения на одно рабочее место ВДТ выполняется.

Планирование размещения компьютеризированных рабочих мест про-

водим с учетом следующих требований:

- рабочие места размещаются на расстоянии не менее 1 м от стены со световыми прорезами;
- расстояние между боковыми поверхностями должно быть не менее 1,2 м;
- расстояние между тыльной поверхностью одного ВДТ и экраном другого не должно быть менее 2,5 м;
- проход между рядами рабочих мест должен составлять не менее 1 м.

Также необходимо учесть размеры мебели на компьютеризированных рабочих местах, в частности рабочего стола. Согласно НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин», рекомендованные размеры стола для рабочего места ВДТ составляют: высота – 725 мм, ширина – 600-1400 мм, глубина – 800-1000 мм. Допустим, рабочий стол имеет такие размеры: ширина – 1200 мм, глубина – 800 мм.

Лучше всего разместить компьютеризированные рабочие места рядами вдоль стены с окнами. Это даст возможность устранить зеркальное отражение на экране ВДТ источника природного света (окон) и попадания последних в поле зрения операторов, что ухудшает условия их зрительной работы.

4.4 Мероприятия по пожарной безопасности

Мероприятия по пожарной безопасности направлены на обеспечение безопасности людей, на предотвращение пожара, ограничение его распространения, создание условий для успешного тушения пожара.

Данный тип помещения по пожаробезопасности относится к категории «В» согласно НАПБ А.01.001-2004 «Правила пожарной безопасности Украины». Учитывая высокую стоимость оборудования, а также категорию их пожарной опасности, для испытаний выбрано помещение 2-й степени огнестойкости.

Предусматривается прокладка кабельных линий под технологическими

съёмными полами, выполненными из материала с пределом огнестойкости не менее 0.5 часа. Большинство электропроводок выполнены в газовых трубах.

Источником пожароопасности являются ЭВМ и периферийное оборудование. Они характеризуются высокой плотностью размещения электронных схем. В непосредственной близости друг от друга располагаются соединительные провода, коммутационные кабели. При протекании тока возможен их перегрев, плавление изоляции и, как следствие, короткое замыкание, которое сопровождается искрением, перегрузками элементов электронных схем.

Для отвода от измерительной аппаратуры и стендового оборудования избыточной теплоты служат системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Используемая техника имеет для этих целей встроенные вентиляторы. Важно поддержание в зале нормальной температуры и чистоты воздуха.

Для предотвращения образования горючей среды предусматриваются следующие меры:

- изолирование аппаратуры от половых покрытий и мебели огнестойкими материалами или использованием специальной мебели для рабочего места;
- складирование легковоспламеняющихся носителей информации (дискеты, магнитные ленты), а также твердых копий (распечаток), архивных документов (нормативно-технической документации), которые не требуются в данный момент (красящие ленты, картриджи и т.д.), а также спиртосодержащих жидкостей в отдельное пожароизолированное помещение или сейфы.

Согласно норм оснащения помещений ручными огнетушителями на случай возникновения пожара предусматривается наличие в помещении с классом пожара горючих веществ и материалов: класс В - пожары горючих жидкостей или плавящихся твердых веществ и класс (Е) - пожары, связанные с горением электроустановок не менее одного огнетушителя ОУ-5. В качестве средства тушения пожара не может применяться вода (так как измерительная аппаратура и стендовое оборудование находится под напряжением), пена или порошок (ввиду опасности повреждения и выхода из строя дорогостоящей аппаратуры). Оптимальным является выбор углекислотного огнетушителя ОУ-5 со-

гласно НАПБ Б.03.001-2004 «Типові норми належності вогнегасників». В помещении установлен один огнетушитель ОУ-5.

Предусматривается установка в помещении автоматического извещателя автоматической пожарной сигнализации (АГТС). Учитывая высокую стоимость оборудования, наличие разветвленных систем кондиционирования и вентиляции воздуха, большого числа скрытых коммуникаций, а также специфику загорания аппаратуры, выбран дымовой извещатель ИП-212-41М из расчета один извещатель на 25 м² защищаемой площади согласно НАПБ А.01.003-2009 «Правила улаштування та експлуатації систем оповіщення про пожежу та управління евакуацією людей в будинках та спорудах» и ДБН В.2.5-13-98 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Пожежна автоматика будинків і споруд». Следовательно, установлено 2 извещателя.

Таким образом, охрана труда обеспечивает безопасность и здоровые условия труда при работе с ЭВМ и периферийным оборудованием.

4.5 Мероприятия по обеспечению безопасности в чрезвычайных ситуациях

Методы защиты от влияния электромагнитного импульса на элементы производства.

Наибольшую опасность для радиоэлектронных средств представляет первая стадия генерирования электромагнитного импульса (ЭМИ) при ядерном взрыве, на которой, в соответствии с законом электромагнитной индукции, из-за чрезвычайно быстрого нарастания амплитуды импульса (максимум достигается на 3 – 5 нс после взрыва), наведенное напряжение может достигать десятков киловольт на метр на уровне земной поверхности, плавно снижаясь по мере удаления от эпицентра взрыва.

Амплитуда напряжения, наводимого ЭМИ в проводниках, пропорциональна длине проводника, находящегося в его поле, и зависит от его ориентации относительно вектора напряженности электрического поля. Так,

напряженность поля ЭМИ в высоковольтных линиях электропередачи может достигать 50 кВ/м, что приведет к появлению в них токов силой до 12 кА.

ЭМИ генерируются при следующих видах ядерных взрывов : воздушном, наземном. Теоретически установлено, что в этих случаях его интенсивность зависит от степени асимметричности пространственных параметров взрыва. Поэтому воздушный взрыв, с точки зрения генерации ЭМИ, наименее эффективен. ЭМИ наземного взрыва будет иметь высокую интенсивность, однако она быстро уменьшается по мере удаления от эпицентра.

Идеальной защитой от ЭМИ явилось бы полное укрытие помещения, в котором размещена радиоэлектронная аппаратура, металлическим экраном. Вместе с тем ясно, что практически обеспечить такую защиту в ряде случаев невозможно, т.к. для работы аппаратуры часто требуется обеспечить ее электрическую связь с внешними устройствами. Поэтому используются менее надежные средства защиты, такие, как токопроводящие сетки или пленочные покрытия для окон, сотовые металлические конструкции для воздухозаборников и вентиляционных отверстий и контактные пружинные прокладки, размещаемые по периметру дверей и люков.

Более сложной технической проблемой считается защита от проникновения ЭМИ в аппаратуру через различные кабельные вводы. Радикальным решением данной проблемы мог бы стать переход от электрических сетей связи к практически не подверженным воздействию ЭМИ волоконно-оптическим. Однако замена полупроводниковых приборов во всем спектре выполняемых ими функций электронно-оптическими устройствами возможно только в отдаленном будущем. Поэтому в настоящее время в качестве средств защиты кабельных вводов наиболее широко используются фильтры, в том числе волоконные, а также искровые разрядники, металлоокисные варисторы и высокоскоростные зенеровские диоды.

В основном лучше использовать высокоскоростные зенеровские диоды, действие которых основано на резком лавинообразном изменении сопротивления от относительно высокого значения практически до нуля при превы-

шении приложенного к ним напряжения определенной пороговой величины. Кроме того, в отличие от варисторов, характеристики зенеровских диодов после многократных воздействий высоких напряжений и переключений режимов не ухудшаются.

Наиболее рациональным подходом к проектированию средств защиты от ЭМИ кабельных вводов является создание таких разъемов, в конструкции которых предусмотрены специальные меры, обеспечивающие формирование элементов фильтров и установку встроенных зенеровских диодов. Подобное решение способствует получению очень малых значений емкости и индуктивности, что необходимо для обеспечения защиты от импульсов, которые имеют незначительную длительность и, следовательно, мощную высокочастотную составляющую. Использование разъемов подобной конструкции позволит решить проблему ограничения массогабаритных характеристик устройства защиты.

Современное состояние проблемы ЭМИ можно оценить следующим образом. Достаточно хорошо исследованы теоретически и подтверждены экспериментально механизмы генерации ЭМИ и параметры его поражающего действия. Разработаны стандарты защищенности аппаратуры и известны эффективные средства защиты. Что касается полномасштабных испытаний систем связи и управления, то эта задача вряд ли будет решена в обозримом будущем.

Мощный ЭМИ можно создать не только в результате ядерного взрыва. Современные достижения в области неядерных генераторов ЭМИ позволяют сделать их достаточно компактными для использования с обычными и высокоточными средствами доставки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведён сравнительный анализ трех алгоритмов адаптивной фильтрации методом наименьших квадратов (МНК, НМНК и РМНК) для адаптивного шумоподавителя.
2. Алгоритмы адаптации фильтра, основанные на методе наименьших квадратов, способны очистить гармонический сигнал от шумов и не способны бороться с нестационарной помехой.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Уидроу Б., Стирнз С. Д. Адаптивная обработка сигналов. – М.: Радио и связь, 1989. – 440 с.
2. Адаптивные фильтры: Пер. с англ. / Под ред. К. Ф. Н. Коуэна и П. М. Гранта. – М.: Мир, 1988. – 392 с.
3. Rulph Chassaing. DSP applications using C and the TMS320C6x DSK. – New York: J. Wiley, 2002. – 335 p.
4. Джиган В. И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы. – М.: Техносфера, 2013. – 528 с.