

## «УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель директора по научной работе  
федерального государственного бюджетного  
учреждения науки Институт проблем  
управления им. В.А. Трапезникова Российской  
академии наук

доктор физико-математических наук,  
профессор РАН



М.В. Губко

«09» ноября 2017 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук» – на диссертационную работу Душина Сергея Викторовича «Разработка методов повышения эффективности корреляционного принципа компенсационного подавления экосигналов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

### Актуальность работы

На сегодняшний день существует большое разнообразие алгоритмов и методов адаптивной фильтрации, которые применяются в разнообразных прикладных задачах, включая адаптивную компенсацию экосигналов в телекоммуникационных технологиях. Несмотря на это разнообразие, теория адаптивной фильтрации в целом и адаптивная эхокомпенсация в частности продолжают свое развитие, находя новые применения в прикладных задачах. Среди наиболее активно развивающихся направлений адаптивной эхокомпенсации можно выделить компенсацию экосигналов, сформированных нелинейными эхотрактами; робастную (помехоустойчивую) эхокомпенсацию; многоскоростную адаптивную эхокомпенсацию.

Вход. № 161/17  
«15» 11 2017 г.  
ПОДПИСЬ

В рамках задачи помехоустойчивой адаптивной эхокомпенсации одним из перспективных направлений являются алгоритмы, построенные на корреляционном принципе адаптации. Такие алгоритмы позволяют получить высокую точность оценки импульсной характеристики исследуемой системы и обеспечить большое вносимое эхокомпенсатором затухание даже в условиях непрерывного действия аддитивных шумов и (или) встречных сигналов при относительно небольшой алгоритмической и вычислительной сложности алгоритма адаптации.

Представленная работа посвящена исследованию и разработке алгоритмов, реализующих корреляционный принцип. В данной работе исследуется и берется за основу для создания новых алгоритмов корреляционный принцип адаптации. При этом особое внимание уделено устранению главного недостатка этого алгоритма - низкой скорости сходимости. Решение проблемы сходимости корреляционного алгоритма, которое представлено в диссертации, позволило автору работы разработать на его основе оригинальный алгоритм, сочетающий в себе свойственные корреляционному принципу достоинства (высокую помехоустойчивость и довольно низкую вычислительную сложность) и высокую скорость сходимости. Такой алгоритм имеет перспективы применения в целом спектре прикладных задач, а, значит, представленная диссертационная работа является актуальной.

### **Научная новизна**

Научная новизна представленной диссертации заключается в следующем:

- Осуществлен вывод математических выражений, описывающих корреляционный принцип, на основе общих положений винеровского оптимального оценивания. Определены источники снижения его стабильности, скорости сходимости и помехоустойчивости.
- Разработан новый алгоритм, получивший название "минимальная корреляция виртуальных сигналов" (МКВС). Алгоритм обладает высокой робастностью и скоростью сходимости.
- Предложен способ снижения вычислительной сложности МКВС, основывающийся на быстром алгоритме вычисления матрицы Тёплица на вектор.
- Разработан метод снижения влияния пауз в активном сигнале на динамику адаптации алгоритмов, реализующих корреляционный принцип

адаптации. Согласно приведенным результатам исследований эффективности предложенного метода, он позволяет практически полностью исключить эффект расхождения эхокомпенсатора при действии пауз в активном сигнале.

- Предложен критерий оценки степени настроенности эхокомпенсатора, а также основанный на его анализе метод повышения помехоустойчивости корреляционного алгоритма и МКВС.

### **Теоретическая значимость полученных автором результатов**

Теоретическая значимость работы заключается в разработке математического описания алгоритмов адаптивной фильтрации, реализующих корреляционный принцип адаптации. В частности, в работе представлены математическое обоснование корреляционного алгоритма и алгоритма МКВС. Дополнительно к этому, следует отметить проведенное в рамках диссертационной работы исследование возможности разработки вычислительно быстрого алгоритма МКВС.

С точки зрения **практики** польза работы заключается в разработке нового алгоритма адаптивной фильтрации МКВС, который обладает одновременно высокой скоростью сходимости и помехоустойчивостью. Помимо этого, в работе представлены методы снижения влияния пауз в активном сигнале и увеличения помехоустойчивости механизмов компенсации эхосигналов. Предложенные методы могут быть использованы для улучшения функциональных характеристик эхокомпенсаторов на реальных сетях связи. Применение этих методов частично подтверждается приложенными к работе актами внедрения.

### **Обоснованность и достоверность результатов**

Результаты, полученные в диссертации, представляются достоверными и обоснованными, так как в работе корректно использован математический аппарат, в том числе методы теории вероятностей, линейной алгебры, математической статистики, системного анализа.

Корректность проведенного исследования с использованием компьютерных моделей подтверждена высокой степенью проработанности методики их проведения, а также непротиворечивостью, связностью и теоретической прогнозируемостью полученных результатов. Результаты исследований, проведенных на компьютерной модели, проанализированы и сопоставлены с результатами теоретического анализа, также приведенного в

работе. При этом сделаны выводы о характере и причинах возникновения полученных в ходе исследования зависимостей.

### **Публикация основных результатов работы, апробация и личный вклад автора**

Полнота публикации диссертации подтверждается публикацией основных положений диссертации в 7 статьях в журналах из перечня рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России. Основные положения диссертационной работы апробированы на 3 научно-технических конференциях, в том числе международных.

Этот факт, а также личное общение с соискателем и научным руководителем соискателя позволяют заключить, что основные научные результаты, положения, выводы и рекомендации по теме диссертации получены соискателем лично. Из работ, опубликованных в соавторстве, в диссертацию включены положения и результаты исследований, полученные автором лично.

### **Общая оценка диссертации и автореферата**

Диссертация является целостным научным трудом, обладающим внутренним единством. Она состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и трех приложений. Диссертация изложена на 199 страницах машинописного текста, из них 162 основного текста, включая 61 рисунок, 28 таблиц, и 3 приложения на 36 страницах. Список литературы включает 131 наименование, из которых 70 публикации на русском языке и 61 на английском языке.

Диссертация имеет логичную структуру, написана грамотным научным языком, а её содержание соответствует сформулированным во введении цели и задачам исследования. В диссертации приведены все необходимые ссылки на заимствования. Признаков плагиата и недобросовестного цитирования не обнаружено.

Содержание диссертации в достаточной мере отражается в автореферате.

### **Замечания**

В ходе рассмотрения диссертационной работы Душина С.В. выявлены следующие её недостатки:

1. Дополнительно к рисунку 5.8, на котором представлена динамика вносимого затухания в зависимости от номера итерации для корреляционного алгоритма, МКВС и НМНСК, целесообразно привести график усредненного значения вносимого затухания. Это позволит с большей наглядностью и точностью определить основные качественные показатели процесса адаптации - время адаптации к заданному уровню подавления и средний уровень подавления эхосигнала в установившемся режиме в заданных условиях.

2. Во введении работы метод снижения влияния пауз в активном сигнале и метод повышения помехоустойчивости характеризуются как вспомогательные методы. Данная формулировка не отражает в достаточной мере область применения этих методов. Более корректно характеризовать эти методы как дополнительные методы, позволяющие улучшить функциональные характеристики алгоритма МКВС и корреляционного алгоритма.

3. Излишне подробно изложен материал, касающийся проблемы компенсации эхосигналов, сформированных нелинейным эхотрактом. Данный материал представляется избыточным, поскольку нелинейная эхокомпенсация не является основной темой диссертационной работы.

Представляется важным сформулировать также следующие пожелания:

1. Представленная на рисунке 4.5 блок-схема, описывающая алгоритм управления, содержит числовые пороговые значения предложенного критерия. Желательно для этих пороговых значений использовать символьные обозначения, позволяющие однозначно идентифицировать производимую операцию сравнения. Это позволит повысить удобочитаемость и наглядность блок-схемы.

2. В материале главы 2 диссертационной работы желательно более подробно раскрыть область применения рассмотренных алгоритмов адаптивной фильтрации. Опираясь на эти данные, имеет смысл также сформулировать рекомендации по использованию рассмотренных и разработанных в диссертации алгоритмов.

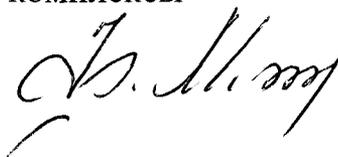
### **Заключение**

Перечисленные выше замечания не снижают ценности представленной работы, а также не влияют на новизну и корректность полученных в работе научных результатов. В связи с этим комиссия заключает, что работа

Душина Сергея Викторовича является законченной научно-квалификационной работой, которая отвечает критериям Положения о присуждении ученых степеней кандидата наук и соответствует паспорту специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Отзыв составил заведующий лабораторией №17 автоматизированных систем массового обслуживания и обработки сигналов Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, доктор технических наук Фархадов Маис Паша оглы. Отзыв обсуждён и одобрен на расширенном семинаре лабораторий № 17, 21, 69 Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, протокол №17-03 от 9 ноября 2017 г.

Заведующий лабораторией №17  
автоматизированных систем массового  
обслуживания и обработки сигналов  
ИПУ РАН, доктор технических наук  
(специальность 05.13.15 –  
Вычислительные машины, комплексы  
и компьютерные сети)



Фархадов Маис Паша оглы

09.11.2017 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
науки Институт проблем управления  
им. В.А. Трапезникова Российской академии наук  
Адрес: 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 65  
<http://www.ipu.ru>  
Тел. (495) 334-87-10,  
E-mail: [mais@ipu.ru](mailto:mais@ipu.ru)