

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета  
на диссертацию (в форме научной монографии) на правах рукописи  
Ведяковой Анастасии Олеговны  
на тему «Методы оценивания параметров гармонических сигналов  
в режиме реального времени с введением запаздывания»,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка  
информации» (физико-математические науки)

### *I. Актуальность научных исследований и темы диссертации соискателя*

Оценивание параметров полигармонических сигналов в режиме реального времени остается актуальной проблемой, как в теории автоматического управления, так и в теории идентификации. С практической точки зрения, многие электрические, механические, акустические и пр. сигналы могут быть представлены как сумма гармоник. Зачастую параметры гармоник заранее не известны и нуждаются в оценивании в процессе функционирования системы. Задача оценивания частот, амплитуд и фаз полигармонических сигналов является важной теоретической задачей в связи с нелинейной зависимостью сигнала от неизвестных параметров и требует разработки специальных эффективных подходов к идентификации.

Диссертация А.О. Ведяковой посвящена разработке методов идентификации, гарантирующих глобальную экспоненциальную сходимость. В работе предложены методы оценивания параметров полигармонических сигналов с постоянными параметрами и гармонических сигналов с переменными параметрами. Кроме того, для полигармонических сигналов с постоянными параметрами предложен конструктивный метод точной оценки параметров за конечное время.

Свойство глобальной сходимости весьма актуально в теории автоматического управления, и для методов непрямого адаптивного управления свойство сходимости оценок параметров играет важную роль при анализе устойчивости замкнутой системы. Большое количество существующих методов оценивания параметров полигармонических сигналов (фильтры Калмана, адаптивные режекторные фильтры, подход, основанный на фазовой автоподстройке частоты) гарантируют лишь локальную сходимость, что затрудняет дальнейшее использование синтезированных оценок в контуре обратной связи.

На сегодняшний день известно большое количество алгоритмов, гарантирующих глобальную сходимость оценок полигармонического сигнала (на основе адаптивных наблюдателей), однако, как правило, они сложны в настройке и обладают высокой вычислительной сложностью. Таким образом, общая мотивация к выполнению диссертационной работы А.О. Ведяковой обоснована практической необходимостью в упрощенных алгоритмах оценивания параметров, удовлетворяющих заданным показателям качества и обеспечивающих глобальную сходимость ошибок оценивания к нулю.

Другой важной задачей, рассматриваемой в диссертации, является построение оценок частот гармонических сигналов с изменяющимися параметрами. Данная задача востребована в различных сферах человеческой деятельности: в биомедицине, телекоммуникациях, для обнаружения неисправностей, в бездатчиковом управлении, в маятниковых системах, навигации и других. Отдельный раздел диссертационной работы А.О. Ведяковой посвящен сигналам с экспоненциально затухающей амплитудой, имеющим большое теоретическое

значение. Для таких сигналов не выполняется условие незатухающего возбуждения, что затрудняет применение стандартных методов идентификации.

Таким образом, актуальность проводимых А.О. Ведяковой научных исследований не вызывает сомнений и определяется разработкой новых методов идентификации, обладающих свойством глобальной сходимости.

## ***II. Основные научные результаты диссертации соискателя и их новизна***

В диссертационном исследовании А.О. Ведяковой получены новые теоретические результаты:

1. Синтезирован адаптивный алгоритм оценивания частот несмещенного полигармонического сигнала с постоянными параметрами на основе совместной обработки значений сигнала в несколько запаздывающих моментов времени. Доказана экспоненциальная сходимость ошибки оценивания частоты к нулю.

2. Разработан конструктивный алгоритм оценивания частот полигармонического сигнала, гарантирующего сходимость оценок параметров к истинным значениям за конечное время, и на основе полученных оценок частот предложен алгоритм идентификации амплитуд и фаз всех гармоник измеряемого сигнала.

3. Синтезированы упрощенные адаптивные алгоритмы идентификации частоты для следующих типов сигналов:

- несмещенного гармонического сигнала с изменяющейся во времени амплитудой;
- смещенного гармонического сигнала с изменяющейся во времени амплитудой;
- гармонического сигнала с изменяющимися во времени амплитудой и фазой;
- смещенного гармонического сигнала с экспоненциально затухающей амплитудой.

4. Доказана экспоненциальная сходимость ошибок предложенного метода оценивания частот к нулю для сигналов с нестационарной амплитудой.

5. Разработаны два метода релаксации, обеспечивающие сходимость ошибки оценивания параметров к нулю при невыполнении условия незатухающего возбуждения.

На основе полученных научных результатов предлагаются решения прикладных задач:

1. Синтезирован наблюдатель постоянной угловой скорости вращения ротора синхронного двигателя с постоянными магнитами при наличии постоянной нагрузки.

2. Синтезирован многоцелевой закон управления морскими системами динамического позиционирования при наличии полигармонических внешних возмущений.

## ***III. Степень обоснованности и достоверности научных положений и выводов, сформулированных соискателем в содержании диссертации на правах рукописи***

Достоверность результатов диссертационной работы А.О. Ведяковой достигнута системным подходом к описанию объекта исследования, корректным использованием фундаментальных положений теории идентификации и автоматического управления, а также апробацией основных положений диссертации на международных конференциях и конгрессах.

По теме исследования опубликовано 10 научных работ, в том числе 9 публикаций в изданиях, индексируемых в наукометрических базах данных Web of Science и Scopus.

## ***IV. Обобщенные сведения о структуре и объеме диссертации соискателя***

Диссертация (в форме научной монографии) на правах рукописи состоит из введения, трех глав с основными полученными научными результатами и выводами, заключения и библиографического раздела, включающего 85 наименований. Диссертация соискателя А.О.

Ведяковой изложена на 140 страницах машинописного текста и содержит 57 рисунков и 2 таблицы.

**Первая глава** диссертации посвящена методу оценивания постоянных параметров полигармонического сигнала в режиме реального времени. В главе сформулированы условия, при выполнении которых доказана экспоненциальная сходимость к нулю ошибок оценивания. Приводится новый подход, позволяющий построить оценки параметров полигармонического сигнала с постоянными коэффициентами за конечное время.

**Вторая глава** диссертационной работы посвящена задаче оценивания частоты смещенного гармонического сигнала с переменными амплитудой и фазой. Отдельно рассматривается случай сигнала с экспоненциально затухающей амплитудой. Для такого сигнала не выполняется условие незатухающего возбуждения. В главе предлагаются методы релаксации, синтезирующие линейные регрессионные модели, для которых выполняется условие незатухающего возбуждения, следовательно, обеспечивается экспоненциальная сходимость к нулю ошибок оценивания.

**Третья глава** диссертации содержит два примера практического применения разработанных идентификационных методов. Первой прикладной задачей, представленной в главе, является построение упрощенной схемы оценивания угловой скорости вращения ротора синхронного двигателя с постоянными магнитами. Вторым прикладным примером является задача динамического позиционирования морского судна с учетом влияния внешних возмущений при обеспечении экономичного режима управления.

В каждой главе диссертации приводятся результаты численного моделирования, подтверждающие работоспособность предложенных подходов. Предложенный в работе подход сравнивается с существующими аналогами на различных значениях настраиваемых параметров измеряемых сигналов и режимах работы.

#### *V. Основные замечания к диссертационной работе состоят в следующем:*

1. Во введении отсутствует описание структуры диссертации. Отдельно упоминается лишь содержание раздела 3.2.

2. Последнее словосочетание «... с введением запаздывания» в названии диссертации не очень точно отражает содержание предложенных автором методов. Более корректно было бы или эти слова просто убрать, или развернуть смысл введения запаздывания, например «..., основанные на ...».

3. Первая глава диссертационной работы посвящена построению оценок всех параметров (частот, амплитуд, фаз) полигармонического возмущения. Однако в разделе 1.8.2, где приводится сравнительный анализ алгоритмов оценивания, представлены результаты сравнения лишь для оценок частот. Оценки амплитуд и фаз, согласно предложенному в диссертационной работе алгоритму, восстанавливаются на основе полученных оценок частот, другими словами, применяется каскадный подход. Представляют интерес результаты численного моделирования оценок амплитуд и фаз при зашумленном измеряемом сигнале и при ступенчатом изменении величин параметров.

#### *VI. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Порядком присуждения в “СПбГУ” ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук», утвержденного приказом “СПбГУ” от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в “СПбГУ”»*

Диссертация (в форме научной монографии) на правах рукописи соискателя ученой степени Ведяковой Анастасии Олеговны на тему «Методы оценивания параметров

гармонических сигналов в режиме реального времени с введением запаздывания», соответствует основным требованиям установленным Приказом 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в «СПбГУ»», а непосредственно соискатель научной степени **Ведякова Анастасия Олеговна** заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации» (физико-математические науки). Пункт 11 указанного Порядка диссертантом не нарушен.

**Член диссертационного совета:**

Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации,  
заведующий кафедрой «Теории управления»  
факультета «Прикладной математики – процессов управления»  
Федерального государственного бюджетного  
Образовательного учреждения высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный университет»  
доктор физико-математических наук, профессор  
**Жабко Алексей Петрович**



16.08.2021