

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу ЮХИМЦА Дмитрия Александровича
«МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОГРАММНЫХ СИГНАЛОВ
И ВЫСОКОТОЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТНЫМ ДВИЖЕНИЕМ
ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ»,
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 05.13.01 – системный анализ, управление
и обработка информации.

Актуальность темы исследования

В настоящее время развитие подводной робототехники идет нарастающими темпами. При этом увеличение объемов добычи полезных ископаемых, как на шельфах, так и глубоководных районах Мирового океана, привело к появлению большого количества подводных трубопроводов и линий связи, требующих непрерывного обслуживания. Несомненно, что большой интерес связан и с наличием ряда военных и научных задач, решение которых опирается на использование подводных аппаратов (ПА).

Для эффективного выполнения многих подводных операций требуется точно перемещать ПА по пространственным траекториям с высокой скоростью в условиях априорной неопределенности и апостериорного изменения их параметров, а также с учетом взаимовлияния между степенями свободы ПА. Однако точность движения ПА по указанным траекториям зависит не только от используемых систем управления (СУ) ПА, но и от программных сигналов, задающих форму траекторий и скорость движения ПА, что обусловлено возрастанием негативных эффектов взаимодействия ПА с окружающей средой при увеличении скорости их движения.

Поэтому цель диссертации, связанная с разработкой методов синтеза СУ, обеспечивающих движение ПА по заданным траекториям с требуемой точностью и максимальной скоростью – является *актуальной*.

Содержание диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы из 253 источников.

В *первой* главе диссертации проводится анализ особенностей ПА как объектов управления, где показывается, что ПА являются сложными нелинейными объектами с переменными и неопределенными параметрами, функционирующими в условиях наличия внешних возмущений и перекрестных связей между степенями свободы ПА. На основе результатов анализа проведено сопоставление существующих подходов к синтезу СУ ПА и определены их достоинства и недостатки. Отмечено, что разрабатываемые СУ для высокоточного управления объектами должны учитывать как особенности ПА, так и параметры программных сигналов, задающих их движение по желаемым пространственным траекториям. На основе выполненного анализа была сформулирована цель и задачи исследования.

Во *второй* главе диссертации разрабатывается метод синтеза децентрализованных СУ для ПА с шестью степенями свободы, обеспечивающие им требуемые динамические свойства при движении ПА по заданным пространственным траекториям. Рассматриваемые СУ состоят из шести подсистем управления отдельными степенями свободы ПА, причем каждая из них включает три вложенных контура управления: контур управления движителями, контур управления скоростью движения и контур управления положением (ориентацией). В главе последовательно разрабатываются методы синтеза СУ для каждого из выделенных контуров управления. Основной целью синтеза СУ для этих контуров является придание им желаемых динамических свойств, что позволяет существенно упростить процедуры синтеза СУ контурами более высокого уровня. В главе представлены результаты моделирования, показывающие эффективность предложенного метода.

В *третьей* главе разрабатывается метод синтеза СУ для ПА с одним поворотным движителем, который позволяет формировать силу тяги с требуемой ориентацией для перемещения ПА по пространственным траекториям, а также обеспечить компенсацию опрокидывающего момента, действующего на ПА со стороны вращающегося винта. В главе разработана структура СУ указанного ПА, а также методы формирования программных сигналов его движения, с учетом ограничений наложенных на движительный комплекс.

В *четвертой* главе диссертации предлагаются методы синтеза систем автоматического формирования программного движения ПА, что позволяет обеспечить их движение с наиболее высокой скоростью по заданной пространственной траектории с сохранением желаемой точности. В главе разработано два подхода к синтезу таких систем – метод синтеза систем автоматического формирования программной скорости ПА и метод синтеза систем автоматической коррекции положения целевой точки, задающей программную траекторию движения ПА. Указанные автоматические системы формирования программного движения могут использоваться в составе бортовых СУ ПА, как по отдельности, так и совместно. При этом система автоматической коррекции положения целевой точки ПА формирует такие новые виртуальные траектории, обрабатывая которые бортовая СУ уменьшает отклонение ПА от исходных траекторий, а система автоматического формирования программной скорости движения позволяет учесть эффект насыщения отдельных движителей при движении ПА по криволинейным траекториям с высокой скоростью. В главе представлены результаты математического моделирования и экспериментальных исследований, подтверждающие высокую эффективность предложенных методов.

В *пятой* главе диссертации разрабатываются методы обработки информации, поступающей от датчиков ПА, позволяющие реализовать разработанные СУ ПА. В частности, в главе рассматривается метод формирования сигналов обратных связей для СУ ПА на основе сигма-точечного фильтра Калмана, использующего неполные данные, поступающие с разной частотой. Также разработан метод идентификации параметров ПА, которые могут быть

использованы в процессе синтеза СУ ПА. Важно, что указанный метод идентификации имеет вычислительную сложность в шесть раз ниже, чем традиционные методы.

В *шестой* главе разработан подход к построению моделирующего комплекса для полунатурного моделирования СУ ПА. Основной особенностью представленного комплекса является его модульная структура, а также возможность использования среды моделирования MatLab, для реализации математической модели ПА. Предложен алгоритм автоматической синхронизации процесса моделирования с работой программной реализации СУ ПА.

В *заключении* даны общие выводы.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Все основные положения, выводы и рекомендации, полученные в диссертационной работе, достаточно полно обоснованы с помощью математического моделирования, достоверность результатов подтверждается как применением корректных моделей движения, так и данными экспериментальных исследований на реальных ПА.

Новизна научных положений, выводов и рекомендаций

В качестве основных научных результатов диссертации могут быть отмечены следующие.

1. Разработан подход к построению СУ контурного управления движением ПА. Это позволяет за счет подстройки параметров программных сигналов движения обеспечить движение ПА по заданным криволинейным траекториям с желаемой точностью и предельно возможной скоростью, в том числе и при использовании линейных СУ.

2. Разработан метод синтеза СУ ПА на основе адаптивных систем с переменной структурой (СПС), которые за счет преобразования задающих сигналов скорости движения ПА позволяют обеспечить увеличение их быстродействия (в благоприятных режимах работы) без идентификации параметров ПА и внешних воздействий.

3. Разработаны методы формирования программных сигналов движения ПА с одним движителем, позволяющие за счет учета особенностей формирования силы тяги, обеспечить точное движение ПА в различных режимах.

4. Разработан метод совместной обработки данных от навигационных датчиков ПА, который позволяет (независимо от частоты поступления данных от отдельных датчиков ПА) формировать сигналы обратных связей для СУ ПА с требуемой частотой за счет динамического изменения вектора и функции измерений сигма-точечного фильтра Калмана.

5. Предложен подход к построению программного комплекса для полунатурного моделирования СУ ПА, который с помощью специального алгоритма автоматической синхронизации вычислительных процессов позволяет обеспечить использование универсальных сред для реализации моделей ПА.

Практическая значимость и апробация работы

Прикладная значимость результатов диссертации, заключается создании просто реализуемых высокоточных СУ ПА, обеспечивающих движение ПА на предельно возможных скоростях. Это позволяет уменьшить время выполнения подводных операций, снижая их себестоимость, а также дает новые возможности для создания ПА с улучшенными функциональными свойствами. Разработанные СУ ПА используются в составе бортовой СУ ПА «МАРК», созданного в Дальневосточном федеральном университете.

Результаты диссертационной работы целесообразно использовать в организациях, занимающихся выполнением научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию робототехнических систем, в частности: в ИПМТ ДВО РАН; в МГТУ им. Баумана; в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН; в ИПУ им. Трапезникова РАН; в Санкт-Петербургском государственном техническом университете, а также в соответствующих подразделениях различных предприятий и ведомств, занимающихся разработкой и производством подводной робототехники различного вида и назначения.

Замечания по диссертационной работе

Можно отметить следующие недостатки диссертации.

1. В первой главе диссертационной работы в разделе 1.2 – "Анализ подходов к синтезу СУ ПА", отсутствует оценка возможности использования нелинейных законов управления, отличных от класса алгоритмов СПС.

2. Рассматриваемые в диссертации математические модели являются нелинейными только по переменным состояния и/или выхода ПА, т.е. по сути – это аффинные системы, хотя существует ряд многосвязных моделей ПА, которые учитывают и нелинейности по управляющим воздействиям.

3. В диссертации разработано несколько методов синтеза СУ движителями ПА как на основе систем с эталонными моделями, так и с помощью адаптивных нейронных сетей, но при этом нет четкого разделения по условиям применения этих СУ.

4. В контуре управления скоростью движения ПА используется адаптивная настройка коэффициента наклона линии переключения СПС. Однако в работе не приведены условия выбора параметров этого алгоритма, учитывающие преобразования задающего сигнала скорости движения.

5. При разработке алгоритмов формирования траекторий движения СУ ПА с одним движителем, для выхода в заданную точку с требуемой ориентацией, не учитывается наличие подводных течений, что может сделать такой выход ПА в указанную точку невозможным.

6. В диссертации разработан метод идентификации параметров ПА, но проверка его работоспособности была произведена только при использовании модели ПА с постоянными параметрами. При этом нет оценок работы указанного алгоритма в случае, когда значения параметров ПА меняются в процессе его функционирования.

Общая оценка работы

Диссертация является завершенной научно-исследовательской работой, выполненной по актуальной тематике. Автореферат соответствует содержанию диссертации, основные результаты которой полностью отражены в опубликованных работах. В целом диссертационная работа «Методы формирования программных сигналов и высокоточного управления скоростным движением подводных аппаратов» отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям. Содержание диссертации соответствует специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации», а ее автор – ЮХИМЕЦ Дмитрий Александрович, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по указанной специальности.

Еремин Евгений Леонидович, доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры информационных и управляющих систем
Амурского государственного университета

Е.Л. Еремин

675027, Амурская обл., Благовещенск, Игнатьевское шоссе 21,
АмГУ, каб. 314, тел. раб.: 4162 39-46-37, e-mail: ereminel@mail.ru.

