

очередь, другие скользящие режимы с уменьшением размерности также до линейных, но и в условиях невыполнения условий инвариантности к возмущениям. Предлагаемые автором решения во многом повышает возможности скользящих режимов и существенно расширяет области их применения.

Новизна полученных результатов

1. Разработан новый алгоритм управления на скользящем режиме, тождественно воспроизводящий на подвижном многообразии скольжения желаемое модельное движение в условиях постоянного воздействия на объект управления неопределенных ограниченных возмущений.
2. Впервые детально исследованы динамика систем на скользящем режиме при запаздываниях в переключениях структур управления.
3. Впервые получен алгоритм регулирования установившихся параметров колебаний управления на скользящем режиме в системах с линейными стационарными и нестационарными объектами.
4. Впервые получены алгоритмы синтеза многоуровневых векторных разрывных и гибридных управлений с линейными стационарными и нестационарными объектами на скользящих режимах заданного порядка (с повышением порядка уменьшается размерность системы скольжения) и качества при неопределенных возмущениях и полной и неполной информации о состоянии.
5. Впервые получено эффективное многоуровневое управление летательным аппаратом при выполнении условий инвариантности системы к возмущениям.
6. Впервые, как практическая реализация выполненного исследования, получено эффективное управление двухосным гиросtabilизатором с оптическим прибором для условий действия неопределенных возмущений, не удовлетворяющих условиям инвариантности, основанное на алгоритме создания скользящих режимов с последовательным понижением размерности

системы (в виде нового типа многоуровневого управления) с конечным движением изображающей точки системы по фазовой прямой с экспоненциальным по времени затуханием отклонений до нуля.

Достоверность полученных результатов

Полученные алгоритмы, методики и выводы диссертации математически обоснованы со строгими доказательствами выдвигаемых положений и теорем, полностью согласуются с данными проведенных численных моделирований синтезированных систем управления на персональном компьютере в системе программирования Matlab. Предлагаемые методы и алгоритмы формирования управлений и поверхностей скольжения в своих частных случаях и при полной и неполной информации о векторе состояния совпадают в частных случаях с ранее полученными управлениями с переменной структурой в работах других авторов: по управлениям на скользящих режимах с одним логическим переключающим устройством (ЛПУ) и двумя поверхностями переключений; по системам с избирательной обратной связью; по управлению с одним ЛПУ, при задании в предлагаемом в диссертации управлении вспомогательной гиперплоскости переключений, совпадающей с координатной; полученное в работе многоуровневое управление в частном случае систем в форме Фробениуса с постоянными коэффициентами, со скалярным управлением и при отсутствии каких-либо возмущений совпадает также с известным методом форсированных скользящих режимов Е.А. Барбашина, развитие которого остановилось в 70-х годах.

Значимость для науки и практики

Результаты, полученные в диссертационной работе Гатауллиной Л.А. следует в совокупности признать заметным вкладом в решение теоретических и прикладных задач синтеза эффективных скалярных и векторных разрывных одноуровневых и многоуровневых управлений на

скользящих режимах с заданным порядком и качеством и с учетом постоянного воздействия на системы неопределенных ограниченных внешних и параметрических возмущений, номинальных возмущений и при неполной информации о векторе состояния. Результаты разработок нашли применение в управлении на скользящих режимах с малыми энергетическими затратами и с высокой точностью для условий полета беспилотного летательного аппарата (БЛА) при неопределенных возмущениях, в стабилизации бокового движения БЛА многоуровневым разрывным управлением при неопределенных возмущениях; в стабилизации многоуровневым управлением нового типа, приводящим гиросtabilизатор оптического прибора по двум осям последовательно в скользящие режимы более высокого порядка (вплоть до скольжений по двум прямым с экспоненциальным затуханием отклонений в двух подсистемах). Алгоритмы и методики, полученные в диссертации целесообразно использовать в отраслевых институтах, промышленных предприятиях и организациях, применяющих на практике новейшие разработки по созданию наиболее эффективных систем управления полетом летательных аппаратов и их бортовых систем, отличающихся высоким качеством переходных процессов при сравнительно несложной аналоговой и цифровой аппаратурной реализации и при малых энергетических затратах на управление.

В случае цифровой реализации алгоритмов в бортовых компьютерах подвижных объектов они потребуют значительно меньшего их быстродействия по сравнению с возможностью применения других известных алгоритмов со сравнительно большим (в общем случае в n раз, где n - порядок системы уравнений) необходимым числом логических переключающих устройств (ЛПУ). (Данное преимущество связано с тем, что в каждом ЛПУ на скользящем режиме предусмотрено высокочастотное переключение структур в зависимости от знака функции переключений, определяющей поверхность скольжения, то есть весьма большое, в зависимости от шага интегрирования и периода квантования, число операций

сравнения за время переходного процесса. Следовательно, с увеличением числа ЛПУ на скользящих режимах будет заметно снижаться быстродействие бортового компьютера).

Замечания и пожелания по работе

1. В названии темы диссертационной работы для ее большей конкретизации необходимо было внести пояснение слова «режимы».

2. Представленная работа является обстоятельным квалификационным исследованием, результаты которого дополнены обширными материалами Приложений. С учетом этого повторяемые (и неоднократно) необоснованные возможности применения результатов (вне примера с БЛА) в решении задач управления турбореактивными и ракетными двигателями авиационно-космических летательных аппаратов, манипуляторов мобильных роботов и другими сложными электромеханическими системами при неопределенных возмущениях и неполной информации о векторе состояния следует считать излишними.

3. В автореферате автором представлены защищаемые положения, в то время как в тексте диссертации о них нет упоминания, и соответственно, анализа выполнения. Каждая из глав завершена отдельными выводами как констатацией содержания, краткое заключение только о выполнении поставленных задач (причем с № 6,7, 8, 9).

4. Ни в автореферате, ни в диссертации не представлено в явном виде преимущество применяемых и развиваемых для линейных объектов разрывных управлений в отсутствии каких-либо дополнительных (помимо условий существования управления) ограничений на задание гиперплоскостей скольжения, тогда как это является весьма большим преимуществом для обеспечения устойчивости и повышения качества переходных процессов в скользящих режимах. В то же время преимущество в малых энергетических затратах и в возможности регулирования установившихся колебаний самого управления представлено достаточно

полно.

5. Практическая реализация результатов диссертации, по – видимому, требует их представления в виде специализированных и соответствующим образом зарегистрированных программных продуктов. Такой информации в списке авторских работ нет.

В целом все поставленные в диссертации актуальные задачи решены на достаточно высоком научном и практическом уровне с разработкой новых алгоритмов и методик. Диссертация написана грамотным техническим языком, стиль изложения доказательный, все основные результаты диссертации опубликованы в печати и, в том числе, в журналах, рекомендованных ВАК. В автореферате отражено основное содержание диссертации.

Заключение

1. Диссертационная работа Л.А.Гатауллиной посвящена решению задач актуальной проблемы разработки эффективных систем автоматического управления и является законченным научно-техническим исследованием, имеющим существенное значение в управлении двигательными установками (на примере БЛА) в условиях неопределенных и номинальных возмущений и неполной информации собственно о параметрах полета летательного аппарата, а также - в управлении бортовыми электромеханическими системами (на примере двухосного гиросtabilизатора оптического прибора), и, по-видимому, найдет применение в интересах повышения эффективности управления другими техническими объектами.

2. Диссертационная работа Л.А.Гатауллиной «Синтез скользящих режимов с заданным порядком и качеством при неполной информации» соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, а её автор, Гатауллина Лилия Аглымовна, заслуживает присуждения ей учёной степени

кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (механика, машиностроение)».

Материалы диссертационной работы рассмотрены на заседании секции №1 «Специальное оптико - электронное приборостроение» НТС АО «НПО «Государственный институт прикладной оптики». Отзыв рассмотрен и одобрен на этом же заседании « 15 » ноября 2018 г.

Ученый секретарь НТС,
председатель секции №1 НТС
доктор физ.- мат наук , профессор



В. Л. Филиппов

Подпись <u>Филиппова В.Л.</u>
_____ <u>Шу</u> _____ Мухаметова А.Г.
НТС, Управление документооборотом
11 _____ 20 18 г.

