



Акционерное общество
«Газпром космические системы»
(АО «Газпром космические системы»)

Ученому секретарю диссертационного
совета Д 002.024.01

Бондареву А.Е.

Миусская пл., д.4,
г. Москва, 125047

а/я 1860, ОПС Щелково-12, Московская область,
Российская Федерация, 141112

тел.: +7 (495) 504-29-06, +7 (495) 504-29-07, факс: +7 (495) 504-29-11
e-mail: info@gazprom-spacesystems.ru, www.gazprom-spacesystems.ru
ОКПО 11737778, ОГРН 1025002045177, ИНН 5018035691, КПП 505001001

24.04.2019 № МС-10/310/2043

на № _____ от _____

*О направлении отзыва
на автореферат диссертации*

Уважаемый Александр Евгеньевич!

Высылаем в Ваш адрес отзыв доктора физико-математических наук, профессора Бранца В.Н. на автореферат диссертации соискателя ученой степени кандидата физико-математических наук Богданова К.А. на тему «Метод последовательного замыкания мод в задачах модального синтеза адаптивных систем управления движением космических объектов».

Приложение: на 3 л. в 2 экз.

С уважением,
**Заместитель генерального директора
по корпоративной защите
и управлению персоналом**

М.В. Семёнов

Отзыв

на автореферат диссертации Богданова К.А. «Метод последовательного замыкания мод в задачах модального синтеза адаптивных систем управления движением космических объектов», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – Теоретическая механика

Одним из универсальных подходов разработки и построения систем управления многомерными многосвязными динамическими системами является концепция модального управления. Суть модального управления состоит в поиске такой матрицы обратной связи (регулятора), которая бы обеспечивала получившейся замкнутой системе заранее заданные свойства, определяемые корнями наперед заданного характеристического полинома, который согласно общепринятой терминологии принято называть эталонным полиномом.

Двумя основными проблемами модального подхода при построении закона управления являются проблема выбора эталонного полинома, а также проблема поиска коэффициентов регулятора, обеспечивающего замкнутой системе набор корней, соответствующих эталонному полиному. При больших размерностях объекта регулирования поиск матрицы обратной связи в задаче модального управления становится нетривиальной задачей. Численные и аналитические алгоритмы, существующие в настоящее время, и используемые для решения задачи модального управления имеют ряд недостатков, связанных как с низкой точностью определения нужных коэффициентов обратной связи, так и с ограничениями по выбору эталонного полинома. Данный факт, делает тему диссертационной работы, посвященной разработке нового алгоритма решения задач модального управления актуальной.

Автором диссертации предложен собственный алгоритм решения задачи модального управления. Алгоритм представляет собой итерационную процедуру, на каждом шаге которой строится матрица обратной связи, «замыкающая» одну пару корней объекта управления. Далее искомая обратная связь ищется путем суммирования матриц обратной связи, найденных на каждой итерации.

Сравнительный анализ разработанного алгоритма с современными аналогами, показывает достаточно медленный рост вычислительной ошибки с ростом размерности вектора состояния (сравнение алгоритма с функцией `acker` в реализованной в MATLAB, проведенное в первой главе), а также отсутствие принципиальных ограничений на выбор типа эталонного полинома (сравнение

алгоритма с функцией Place, реализованной так же в MATLAB, проведенное во второй главе).

Помимо самого алгоритма последовательного замыкания в диссертации предложен новый класс эталонных полиномов. Автор вводит новый параметр в стандартный полином Баттерворта, варьируя который, можно обеспечивать замкнутой системе необходимые степень устойчивости и степень колебательности.

Эффективность алгоритма последовательного замыкания демонстрируется на примере решения двух задач управления ориентацией космических аппаратов (КА). Во второй главе представлено решение задачи выведения и удержания Международной космической станции (МКС) в положении динамического равновесия. В этой задаче алгоритм последовательного замыкания используется для поиска матриц обратной связи, которые обеспечивают устойчивое управляемое угловое движение станции. В третьей главе решается задача построения адаптивного закона управления космической платформой с солнечным парусом. В данной задаче объект регулирования имеет параметрическую неопределенность, поэтому алгоритм последовательного замыкания используется как для построения регулятора, так и для построения адаптивного наблюдателя, обеспечивающего сходимость оценки неизвестных параметров и неизмеряемых переменных объекта регулирования к их истинным значениям. Как в первой, так и во второй задаче результаты использования алгоритма последовательного замыкания верифицированы математическим моделированием.

Научная значимость работы заключается в новом численном алгоритме решения задач модального управления, который составляет основу диссертации, а также в описании нового класса эталонных полиномов, позволяющих через введение нового параметра задавать нужные значения критериев качества (степень устойчивости и степень колебательности) для исследуемого объекта регулирования. Практическая значимость диссертации заключается в использовании метода последовательного замыкания в алгоритмах, интегрированных в наземный комплекс отладки бортового программного обеспечения для эмуляции системы управления американским сегментом МКС в режиме momentum management.

При всех многочисленных положительных сторонах работы, в качестве замечания можно сказать следующее:

Задача управления ориентацией МКС решена без учета упругости, которая вносит значительный вклад динамику станции. Ввод в вектор состояния переменных, описывающих упругость, в силу наличия мощного инструмента по модальному управлению многомерными объектами регулирования, на мой взгляд, не привело бы к значительному усложнению задачи.

В целом диссертация является законченной работой. По научной и практической значимости, актуальности и апробации работа отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Богданов Кирилл Андреевич, заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – Теоретическая механика.

**Доктор физико-математических наук,
профессор**

В.Н. Бранец

«23» апреля 2019 г.

Подпись доктора физико-математических наук, профессора Бранца Владимира Николаевича заверяю.

**Начальник отдела кадров, трудовых отношений
и социальной политики – помощник генерального
директора АО «Газпром космические системы»**



Е.В. Лисова

«24» апреля 2019 г.