

## УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель генерального конструктора  
КБ «Салют» АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»  
доктор технических наук, профессор



А.В. Владимиров

## ОТЗЫВ

АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» на автореферат диссертации Сеницына Леонида Игоревича «Комплекс методик повышения точности маневрирования наноспутника с двигательной установкой», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Диссертационная работа Сеницына Л.И. посвящена разработке методического аппарата повышения точности орбитального маневрирования наноспутников с целью поддержания баллистической структуры орбитальной группировки.

Создание многоспутниковых космических систем (КС) различного назначения, в том числе на основе сверхмалых КА нанокласса, является одной из важных задач комплексной целевой программы создания отечественных космических средств до 2030 года. Особенностью данной задачи в современных условиях является требование обеспечения достаточно высоких потребительских характеристик таких КС, в частности для систем ДЗЗ оперативности и периодичности наблюдения, за счет применения значительных группировок КА при условии ограничений на их стоимость и сроки создания.

В этом отношении выбранная тема исследований автора, связанная с разработкой комплекса методик повышения точности совершения маневра коррекции орбиты наноспутника, оснащенного двигательной установкой, в

Входящий № 205-9054  
Дата 24 НОЯ 2023  
Самарский университет

условиях воздействия на движение наноспутника в процессе маневра целого ряда возмущающих факторов, и разработка соответствующих практических рекомендаций по повышению точности маневрирования наноспутника для поддержания его орбитальных параметров с целью сохранения стабильности орбитальной группировки является несомненно актуальной.

Для реализации предложенного комплекса методик повышения точности маневрирования наноспутника автором последовательно разработана подробная формализованная математическая модель движения центра масс и относительно центра масс наноспутника в процессе его маневрирования, учитывающая погрешности отработки корректирующего импульса двигательной установкой (ДУ), а также производственные отклонения в процессе изготовления наноспутника и ДУ. На основе данной детерминированной модели предложена развернутая стохастическая математическая модель корректирующего движения наноспутника, в которой вероятностные модели случайных факторов представлены в виде достаточно обоснованной совокупности случайных параметров движения относительно центра масс, параметров конструкции наноспутника и ДУ и параметров работы ДУ. Для оценки влияния погрешностей отработки тяги ДУ в работе предложена методика формирования вероятностной модели силы тяги реактивного двигателя наноспутника с получением функции плотности распределения силы тяги, а для формирования требований к допустимым погрешностям изготовления наноспутника и его ДУ для достижения требуемой ориентации в процессе выдачи корректирующего импульса и точности маневрирования, разработана методика с использованием аппарата регрессионного и факторного анализа. Представляют интерес предложения автора по созданию вспомогательной одноосной системы стабилизации вектора тяги в виде маховика, когда не выполняются условия компромиссного сочетания допустимых погрешностей перечисленных выше случайных факторов для обеспечения заданной точности орбитального маневрирования.

Разработанные в работе стохастическая модель движения наноспутника при совершении корректирующего маневра, модель учета погрешностей проектных параметров наноспутника и режимов работы ДУ на точность коррекции и предложения по вспомогательной системе стабилизации в виде маховика, судя по автореферату, отличаются новизной.

Важное место в работе уделено апробации моделей и методик решения задачи повышения точности выполнения орбитального маневра на примере наноспутника SamSat-M. С использованием разработанных методик были сформированы конкретные требования к погрешностям проектных параметров наноспутника и его электротермической двигательной установки для обеспечения группового полета, в котором SamSat-M является одним из участников группировки. Результаты расчетов хорошо иллюстрированы гистограммами изменения скорости и погрешности реализации корректирующего импульса в требуемом направлении и изменения угловой скорости относительно центра масс. В этом отношении работа имеет практическую значимость и может найти применение при разработке перспективных наноспутников формата SamSat-M и других.


К недостаткам работы, на наш взгляд, следует отнести:

- в работе для дополнительной стабилизации наноспутника от воздействия случайных факторов в ходе коррекции орбиты рассмотрен только вариант с использованием маховика, хотя сравнительный анализ и других существующих систем угловой стабилизации позволил бы расширить возможности использования разработанных автором моделей при создании широкого класса мини - и наноспутников;
- в автореферате кратко отмечено, что требования к погрешностям проектных параметров и ДУ наноспутника SamSat-M были выбраны в работе исходя из необходимости обеспечения группового полета. Однако результатов влияния этих требований на орбитальные параметры наноспутника и в конечном счете, например, на его положение относительно других наноспутников группировки не приводится;

- в работе не рассматривается цена затрат на обеспечение требований к погрешностям при изготовлении наноспутника и его ДУ для достижения заданной точности ориентации вектора тяги и результатов маневрирования, при том что одним из основных требований к спутникам такого класса является их минимальная стоимость изготовления.

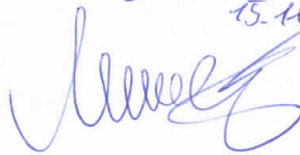
. В целом, несмотря на отмеченные недостатки, судя по автореферату диссертационная работа Сеницына Л.И заслуживает положительной оценки, а ее автор присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Ведущий конструктор отдела



**С.В. Белик**

Ведущий конструктор



**О.В. Михеев**

Подписи Белика Сергея Владимировича

и Михеева Олега Всеволодовича удостоверяю

Ученый секретарь НТС КБ «Салют» АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»,  
начальник отдела, кандидат технических наук



**А.А. Белкин**