

ОТЗЫВ

официального оппонента Локтева М.А. на диссертацию Куи Мин Хана на тему **"Математическое и программное обеспечение расчета затененности солнечных батарей космических летательных аппаратов"** по специальности **05.13.18** "Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ" на соискание ученой степени кандидата технических наук

1. Актуальность темы исследования. Эффективное использование экологически чистой солнечной энергии является важной народнохозяйственной задачей на земле и, особенно, в космосе. Надежное энергоснабжение космических летательных аппаратов (КЛА), как пилотируемых, так и беспилотных, является основой их нормального функционирования на орбите. Все это требует проведения предварительных расчетов эффективной площади освещения солнечных батарей как на этапе проектирования, так и эксплуатации КЛА. В свою очередь такие расчеты требуют, как разработки математических моделей оценки освещенности КЛА конкретных размеров с учетом направления потока солнечной энергии, так и создания на этой основе соответствующего программного обеспечения (ПО).

Таким образом, актуальность темы исследования диссертации Куи Мин Хана заключается в разработке ПО, направленного на ускорение и повышение качества проектирования КЛА, обеспечения надежности их функционирования на орбите.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается:

- корректным использованием методов геометрического и математического моделирования, использованием сертифицированных программных продуктов;

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАН
28.02.18

- верификацией разработанного математического и программного обеспечения по тестовым примерам с заведомо известным результатом, что показало высокую степень достоверности проводимых расчетов.

Обоснованность и достоверность результатов диссертационного исследования Куи Мин Хана также подтверждается достаточным количеством публикаций в рецензируемых изданиях, изданной за рубежом научной монографией и выступлениями на научных конференциях.

3. Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, вывод рекомендаций, сформулированных в диссертации, заключается в следующем:

- показано, что задача оптимизации размещения солнечных батарей на КЛА с математической точки зрения может быть описана как задача математического программирования;

- на основании рецепторных геометрических моделей с использованием четырехзначной логики разработаны сканирующие алгоритмы вычисления площадей затенения поверхностей различного типа КЛА, а также модификации этих алгоритмов, учитывающих конструктивные особенности анализируемых КЛА;

- разработана методика оптимизации совокупности конструктивных параметров компоновки внешних солнечных батарей по критерию их максимальной эффективности (минимальной затененности солнечных батарей как друг другом, так и другими конструктивными элементами КЛА);

- осуществлена программная реализация на языке C# предложенной в предыдущей главе рецепторной геометрической модели оценки эффективной площади освещения солнечных батарей, а также разработана графическая оболочка на языке C# с подключением графических библиотек этого языка, позволяющая визуализировать результаты проведенных расчетов;

- проведена верификация результатов работы геометрической модели и ее компьютерной реализации путем сравнения идеальной модели с заранее известными результатами и данными, полученными в результате расчета.

Показано, что точность расчетов по геометрической модели ожидаемо зависит от размера рецептора, приведены конкретные оценки как точности вычислений в зависимости от размеров рецептора, так и времени вычислений.

Оценивая содержание диссертации следует отметить, что представленный материал изложен логически верно, последовательно и по существу, с убедительным доказательством правильности использованных методических подходов и полученных решений поставленной диссертантом задачи исследования.

Во **введении** диссертации Куи Мин Хана обоснована актуальность исследования, сформулированы цели и задачи работы, перечислены новые научные и практические результаты исследования, определены положения, выносимые на защиту.

В разделе 1 проведен анализ особенностей функционирования солнечных батарей на стационарных гелиостанциях и на КЛА. Показано, что взаимное затенение солнечных батарей, приводит к значительному уменьшению их эффективности, и, как следствие, проблемами эксплуатация всего КЛА. Проведено обоснование расчетной модели, показано, что с математической точки зрения задачу исследования можно рассматривать как задачу оптимизации размещения солнечных батарей КЛА к задаче математического программирования.

Показано, что задача автоматизации расчета взаимного затенения является задачей геометрического моделирования, рассмотрены основные методы геометрического моделирования объектов космической техники и методов их визуализации.

В разделе 2 обосновано использования для решения поставленной задачи рецепторных (воксельных) геометрических моделей, в основу которых положено приближенное представление геометрического объекта в пространстве рецепторов - дискретных элементов пространства. Показаны достоинства и недостатки рецепторного метода моделирования. Безусловным достоинством рецепторной модели является уникальная легкость определения условия взаимного непересечения геометрических объектов, что обусловило (наряду с

увеличением вычислительной мощности современных компьютеров) в последние годы интерес к рецепторным геометрическим моделям как во всем мире.

В этом разделе описан и обоснован алгоритмы расчета площади взаимного затенения геометрических объектов, программы его реализации. Здесь же описан и обоснован выбор имитационного метода оптимизации функционала из допустимого множества конструктивных параметров, описывающих форму и расположение конструктивных элементов КЛА.

В разделе 3 описана программная реализация геометрического моделирования степени затененности солнечных батарей КЛА и визуализация результатов вычислений. Приведена функциональная схема программного комплекса, написанного на языке С#, реализующего рецепторную геометрическую модель оценки степени затененности солнечных батарей КЛА, а также графическую оболочку, визуализирующую модель КЛА, ход расчета площади затенения и результаты расчета.

В данном разделе описаны результаты оценки точности реализации исследуемой рецепторной модели, показавшие конкретные значения погрешности модели в зависимости от размеров единичного рецептора. Построены кривые оценки точности и производительности вычислений, показавшие, что уменьшая размер рецепторов можно достичь высокой точности без существенного увеличения процессорного времени для проведения вычислений.

В заключение и выводах сформулированы основные положения, научные и практические результаты, полученные в ходе работы.

Диссертация Куи Мин Хана написана хорошим литературным языком, хорошо иллюстрирована, изложение материала логичное, выводы понятны и убедительны. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

4. Значимость для науки и практики полученных диссертантом результатов заключается:

- в разработке рецепторных геометрических моделей описания формы КЛА и солнечных батарей, позволяющих оценить степень затененности обитаемым модулем, так и другими солнечными батареями;
- в разработке алгоритмов оценки эффективной площади освещенности солнечных батарей КЛА при различных положениях источника света относительно КЛА;
- в разработке программ реализации оценки эффективной площади освещенности солнечных батарей КЛА, включая графическую оболочку визуализации результатов расчета;
- в разработке алгоритмов оптимизации размещения конструктивных элементов КЛА для обеспечения максимально эффективного функционирования солнечных батарей;
- в проведении верификации и оценке эффективности разработанных геометрических моделей, алгоритмов и программ их реализации методом численного эксперимента;
- во внедрении полученных результатов исследования в промышленность и учебный процесс ВУЗа.

5. Общая оценка содержания диссертации, ее завершенности позволяет сделать вывод о высоком научно-методическом уровне диссертации Куи Мин Хана, представляющем собой законченное научное исследование, выполненное на актуальную тему и имеющее практическую ценность.

Сильной стороной диссертации является использование для решения поставленной задачи малоизвестного рецепторного (воксельного) метода геометрического моделирования, никогда ранее не использовавшегося для решения задач затенения (в терминах геометрии - задач проекционной природы). При этом диссертант использует рецепторный метод не в классическом виде (с бинарными кодами "0" и "1"), а с многозначной логикой (кодами "0", "1", "2" и "3"), что существенно упрощает весь алгоритм решения поставленной задачи. Это позволяет утверждать о существенном научном вкладе диссертанта в развитие

рецепторного метода геометрического моделирования для решения практических задач.

Следует отметить, что при всей своей математической простоте рецепторный метод чрезвычайно сложен в своей программной реализации, поэтому доведение расчетной геометрической модели до алгоритмов и программ, включая графическую оболочку созданного диссертантом программного комплекса, показывает хорошее владение диссертантом теоретических и практических компетенций в области разработки и тестирования программного обеспечения.

Диссертация тщательно выполнена и отредактирована, оформлена в полном соответствии с современными ГОСТами на оформление диссертации. Большой библиографический список литературы из 289 наименований (в том числе 95 иностранной), широко цитируемой во всех разделах диссертации, говорит о тщательной проработке исследуемого материала и научной эрудиции диссертанта.

6. Замечания по диссертации

1. В диссертации геометрическая форма КЛА и их солнечных батарей задается либо примитивами, либо композициями примитивов. В то же время сами КЛА могут иметь значительно более сложную геометрическую форму, ограниченную криволинейными поверхностями, что в диссертации Куи Мин Хана не рассматривалось.

2. Из главы 2 не совсем понятен механизм формирования рецепторной матрицы по исходной параметрической модели КЛА.

3. В диссертации совершенно не рассмотрен такой метод снижения размерности вычислений, как SVO (Sparse Voxel Octree - Разреженное воксельное октодереву) позволяющее заменить внутренние воксели (рецепторы в терминологии диссертации) моделируемых объектов их более крупными агломерациями, не анализируемыми в процессе расчетов. Технология SVO может

быть существенным резервом снижения объема вычислительных операций при решении поставленной диссертантом задачи.

4. Не рассмотрены возможности распараллеливания вычислений при обработке рецепторной матрицы, что особенно актуально при использовании современных многоядерных процессоров.

Приведенные выше замечания во многом носят характер пожелания и не снижают общего высокого научного уровня и практической значимости диссертации Куи Мин Хана. Они могут быть учтены в дальнейшем при развитии этого направления исследований.

7. Заключение о соответствии диссертации установленным требованиям.

Результаты рассмотрения диссертации и автореферата Куи Мин Хана позволяют сделать следующие выводы. В соответствии с требованиями «Положения о присуждении ученых степеней»:

- полученные результаты диссертационного исследования, соответствуют поставленной цели и задачам;
- автореферат диссертационной работы полностью соответствует содержанию диссертационной работы;
- основные результаты диссертации достаточно полно отражены в 3 статьях рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации и опубликованы в научной монографии и сборниках тезисов и конференций;
- диссертационная работа Куи Мин Хана тематически и по содержанию соответствует 7 из 8 разделов паспорта специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»,

Диссертационная работа Куи Мин Хана «Математическое и программное обеспечение расчета затененности солнечных батарей космических летательных аппаратов» является завершенным научно-квалифицированным исследованием на

актуальную тему и имеет практическую значимость. Новые результаты, полученные диссертантом, позволяют повысить качество проектирования и эффективность космических летательных аппаратов, использующих для своего энергопитания солнечные батареи.

По своей актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований и практической значимости полученных результатов, содержанию и оформлению - диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям, представленными на соискание ученой степени кандидата технических наук. Автор диссертации Куи Мин Хан заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент Михаил Александрович Локтев

к.т.н, доцент кафедры "Инженерная графика", ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

М.А.Локтев

Подпись Локтева М.А. удостоверяю

Гербовая печать

Дата

ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН».

127055, г. Москва, Вадковский переулок, д. 3 а

(499) 973-30-66; (499) 972-94-00

rector@stankin.ru

