ОТЗЫВ
на диссертацию Е.Г.ВОРОНИНА

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ НАДЁЖНОСТИ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ,

представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.34 – Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия

Последнее десятилетие связано со стремительным ростом производства и использования данных дистанционного зондирования. Помимо традиционных применений аэрокосмических снимков для создания и обновления различных видов картографической продукции возникли и стали привычными глобальные геоинформационные сервисы, такие как Google Earth, Google Maps, Яндекс карты, Bing Maps, DigitalGlobe и другие. Они с одной стороны сделали привычным для использования новые виды данных, включая 3D модели земной поверхности с расположенными на ней объектами и различные виды их визуализации, с другой – сделали эти данные доступными огромному числу пользователей. При этом значительно вырос как объём поступающих данных, так и их качество, на мировом рынке появились и стали доступны для коммерческого использования спутниковые снимки высокого разрешения. Несмотря на возникновение и быстрое развитие в то же самое время альтернативных источников снимков и прежде всего беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), значение дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса не снижается, поскольку этот вид данных обладает такими уникальными свойствами как круглосуточность и всепогодность. Не стоит также забывать, что довольно обширные территории, которые по разным причинам могут представлять большой интерес для России, недоступны наблюдению с БПЛА и не будут доступны в ближайшее время. Таким образом, востребованность спутниковых снимков в ближайшие годы

будет только возрастать, учитывая постоянно возникающие новые применения этого типа данных.

В настоящее время значительный объем данных ДЗЗ из космоса, пригодных по своим визуальным и измерительным характеристикам для создания топографических карт и других геоинформационных продуктов включая, в первую очередь, метрически точные 3D модели, получают с помощью оптико-электронной съёмочной аппаратуры. Основным требованием к результатам фотограмметрической обработки таких данных, в силу измерительного предназначения создаваемой продукции, является обеспечение высокой точности координатных определений на земной поверхности. Космическая съемка носит глобальный характер, поэтому ситуация недостатка или полного отсутствия опорных данных на некоторые территории представляется скорее правилом, чем исключением. В этих условиях особое значение приобретает разработка методов фотограмметрической обработки снимков, в максимальной степени учитывающих особенности как используемой оптико-электронной съемочной аппаратуры, так и динамического процесса съемки при движении системы по орбите. Следовательно, тема рецензируемого диссертационного исследования несомненно является актуальной.

К настоящему времени уже разработаны и постоянно совершенствуются различные методы фотограмметрической обработки, учитывающие динамический характер съёмки, узкоугольность съёмочной аппаратуры и другие особенности оптико-электронных космических снимков. Однако важная особенность данной диссертации заключается в том, что в отличие от большинства работ в области фотограмметрических построений в ней делается серьезная попытка теоретического осмысления и обобщения известных методов с одной стороны и, что еще более ценно, построение собственной теории, названной автором «теорией надежности», с другой. Перечислю наиболее существенные с моей точки зрения положения, методы и результаты, полученные в диссертации.

1. Обоснована модель надёжной фотограмметрической обработки оптико-электронных космических снимков.

2. Раскрыты причины возникновения смещений одноимённых точек в перекрытиях фотоприёмных матриц, получены оценки их составляющих, обусловленных основными действующими факторами, разработан новый метод геометрической сшивки оптико-электронных космических снимков с учётом этих смещений.

3. Исследован и разработан ряд методов противодействия преобразованию связок проектирующих лучей при решении обратной фотограмметрической засечки, в том числе:

а) методика браковки связующих точек по смещениям в перекрытиях ПЗС-матриц и методика браковки связующих и опорных точек по невязкам положения на местности;

б) математический аппарат оценки точности измерения координат одноимённых точек на паре цифровых снимков и его применение для назначения весов измерений при решении обратной фотограмметрической засечки;

в) метод снижения обусловленности матрицы нормальных уравнений, основанный на представлениях Б.Г. Галёркина;

г) методы вычисления систематических погрешностей элементов внешнего ориентирования.

4. Разработана теория обеспечения надёжности фотограмметрической обработки путём корректировки весов уравниваемых измерений, включая:

а) свойство постоянства сумм взвешенных квадратов остаточных невязок косвенных измерений на единицу дисперсии невязки в масштабе, задаваемом дисперсией погрешностей измерений;

б) зависимость сходимости последовательных итераций от отношения дисперсий единицы веса;

в) методику приведения результирующей ошибки единицы веса к начальному значению;

г) критерии соответствия дисперсий измерений, используемых для назначения весов, их истинным значениям;

д) пути уточнения приближённо заданных весов измерений;

е) методику оценки точности уравненных значений измерений.

5. Разработана новая технология фотограмметрической обработки оптико-электронных космических снимков и представлены результаты её применения.

Все предложенные вычислительные методы у Е.Г.Воронина теоретически хорошо выверены, обоснованы, отличаются серьезной математической проработкой. Далеко не каждый исследователь станет разрабатывать и сравнивать 3-4 возможных метода решения задачи, когда у него уже есть один, который дает вполне приемлемые результаты. Автор идет на это, что, безусловно, повышает достоверность и научную значимость выводов и рекомендаций, сформулированных в работе. Их практическая значимость также не вызывает сомнений. Она основана на ясном профессиональном видении источников возникающих задач, математически четкой постановке численного эксперимента и последующей интерпретации его результатов. Полученные результаты положены в основу методик, значительно повышающих эффективность фотограмметрической обработки оптико-электронных космических снимков, что также подтверждается приведенными результатами статистического анализа.

Наряду с общей положительной оценкой диссертации ее содержание вызывает и критические замечания. Прежде всего, это связано с введенным понятием «надежность». Надежность по мнению самого автора является основным предметом исследований диссертационной работы и по его же признанию термин «надёжность» в фотограмметрии не определён. В таком случае оппонент, читающий диссертационную работу, ожидает найти в ней две вещи: ясное определение нового термина и его безусловную полезность, которая в этом случае может трактоваться с теоретической либо с практической точки зрения. Понятие «надежность» существует во многих

областях техники и характеризует многократное повторение в эксперименте некого полезного свойства технической системы, например ее неразрушаемости. Какое полезное свойство продукта достигается обеспечением надёжности фотограмметрической обработки, из текста диссертации не совсем ясно. Предполагаю, что речь здесь может идти о последующих многократных измерениях на снимках с правильно определенными элементами внутреннего и внешнего ориентирования, но автор на этом не акцентирует внимания.

Далее, вводимое понятие «надежность» целиком опирается на теорему Шаля. При этом не приводится формулировка самой теоремы, не дается никаких рисунков, поясняющих связь между теоремой и «надежностью». А понять это крайне важно, поскольку речь идет об одном из основных положений диссертационной работы. Без этого несколько подвисают в воздухе все утверждения автора о преобразовании связок и необходимости противодействия этому преобразованию. Ситуация осложняется тем, что в математике под именем Мишеля Шаля существует несколько различных утверждений и найти сегодня именно эту теорему в литературе или интернете крайне сложно.

Много вопросов возникает по описанию программного комплекса, данному в четвертой главе. К настоящему времени последовательность рабочего процесса обработки данных в фотограмметрических станциях давно устоялась и хорошо известна, как и содержание отдельных этапов обработки. В главе недостаточно описаны такие интересные и сложные для автоматизации процессы как выбор связующих межмаршрутных точек и построение ЦМР, очень поверхностно описан процесс построения ортомозаики. Вполне понятно, что разработка данного программного комплекса не являлась одной из приоритетных целей работы, а лишь была необходима для отработки и подтверждения предложенных автором методов и алгоритмов. Поэтому представляется, что было бы лучше с точки зрения содержания дать самое общее описание комплекса в виде блок-схемы и

перейти к изложению полученных результатов, подтверждающих успешность применения этих оригинальных методов и алгоритмов.

В отзыве приходится отметить также определенную небрежность в использовании специальных терминов. Написано: «модель фотограмметрической обработки снимков» (стр.40) вместо привычного «*процесс* фотограмметрической обработки снимков», «функция, *по* которой берутся частные производные» (стр.151) вместо «функция, *от* которой берутся частные производные», «фрагмент *гипсометрической* матрицы рельефа» (стр.233) там, где на самом деле представлена матрица в *псевдоцветах*; термин «контуристая местность» (стр.224) не является общепринятым.

Приведенные замечания несколько снижают качество рассматриваемой работы, но не являются критическими для ее общей высокой оценки. Поэтому, несмотря на отмеченные недостатки, считаю, что диссертация Е.Г.Воронина *отвечает критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук*, установленным разделом II «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842. Рецензируемая диссертация содержит решение научной проблемы - в ней *разработаны математические методы и алгоритмы новых научно обоснованных технологических решений по фотограмметрической обработке оптико-электронных космических снимков при отсутствии или минимальном количестве опорных точек,* что имеет важное значение для различных отраслей оборонного комплекса и народного хозяйства; ее автор, Евгений Геннадьевич Воронин, *заслуживает* присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.34 - Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия.

Автореферат соответствует содержанию диссертации, основные положения которой опубликованы в 24 научных статьях, 16 из них в журналах, рекомендованных ВАК. Разработки автора неоднократно

обсуждались на представительных конференциях, где получили одобрение научной общественности,

Официальный оппонент,
доктор технических наук Блохинов Юрий Борисович

Подпись Блохинова Юрия Борисовича заверяю.

Ученый секретарь ФГУП "ГосНИИАС",
доктор технических наук, профессор Мужичек Сергей Михайлович

«___» _____ 2016 г.

Сведения об оппоненте:

Организация: Федеральное государственное унитарное предприятие «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем» (ФГУП «ГосНИИАС»)
Структурное подразделение: лаборатория фотограмметрического компьютерного зрения
Должность: начальник лаборатории
Почтовый адрес: 125319, г.Москва, ул. Викторенко, д.7
Телефон: (499)157-04-12
Электронный адрес: yury.blokhinov@gosniias.ru
Шифр и наименование научной специальности, по которой защищена диссертация: 25.00.34 - Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия