

*На правах рукописи*

ШОШИНА Екатерина Юрьевна

**РОБАСТНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ С ОБОСНОВАНИЕМ ТОЧНОСТИ GPS-  
МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ЦЕНТРОВ ПРОЕКЦИЙ И  
ТОЧНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ФОТОТРИАНГУЛЯЦИИ.**

Специальность 25.00.34 – Аэрокосмические исследования Земли,  
фотограмметрия

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2008

Работа выполнена на кафедре управления земельными ресурсами Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Ярмоленко Александр Степанович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Тюфлин Юрий Сергеевич

кандидат технических наук, доцент  
Назаров Александр Степанович

Ведущая организация: ФГУП «Аэрогеодезия» Федерального  
Агентства Геодезии и Картографии  
России

Защита диссертации состоится 25 декабря 2008г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 212.143.01 в Московском государственном университете геодезии и картографии по адресу: 105064, г. Москва, Гороховский пер.4, зал заседаний Ученого совета

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИИГАиК

Автореферат разослан 25 ноября 2008 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
к.т.н., профессор

Краснопевцев Б. В.

## ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность диссертационной работы** обусловлена тем, что вопрос робастного оценивания с обоснованием точности пространственной фототриангуляции при определении КЦП аэрофотоснимков, а так же условий, при которых по точности определения плановых координат эти сети не будут уступать общепринятым точностям в построениях, окончательно не решен. В последнее время такие исследования хоть и активизировались, но их явно недостаточно. При этом получены единичные результаты без дополнительной проверки.

При уравнивании аналитической пространственной фототриангуляции, как и других построений, сильное влияние на конечные результаты оказывают грубые измерения, следовательно, фильтрация грубых ошибок является актуальной проблемой математической обработки результатов измерений. Основы фильтрации грубых ошибок заложены в трудах Маркузе Ю.И., Макарова Г.В. Основоположниками робастного оценивания являются Хьюбер и Хэмпел. Развитие робастных методов оценки нашло отражение в уравнивании геодезических сетей. В пространственной фототриангуляции без КЦП робастные методы развивались Чибуничевым А.Г., Глуховым О.В.

Существующие методы робастного оценивания базировались в основном лишь на методе наименьших модулей. Поскольку этот метод приводит, в общем, к неоднозначным оценкам, то проблема разработки робастных методов, ведущих к однозначному решению является актуальной, тем более что для пространственной фототриангуляции с использованием КЦП они не разрабатывались.

При этом отметим наиболее систематизированные исследования Антипова И.Т., Кадничанского С.А., Хмелевского С.И., Кандыбо С.Н., хотя некоторые их выводы часто не совпадают. Отмечаются исследования, Лобанова А.Н., Дубиновского В.Б., Меррита Э., Павлова В.И., Финаревского И.И. и др., посвященные развитию аэротриангуляции с использованием навигационных измерений. Определенный вклад в применение GPS к пространственной фототриангуляции осуществлен отдельными зарубежными авторами: Acherman F., Blankerberg L.E., Burman H., Torlegard K. и др. Однако нормативно-технологическая сторона по проектированию геодезического обоснования с необходимыми требованиями к точности спутниковых измерений и построению фототриангуляции практически не отработана. В связи с этим возникает задача исследования зависимости точности пространственной фототриангуляции от точности определения КЦП, масштабов аэрофотосъемки, размера блоков, протяженности маршрутов, плотности планово-высотной геодезической опоры и обоснования инструктивных требований по аэрофотосъемкам с использованием КЦП для построения топографических карт и планов.

### **Цель и задачи диссертационной работы.**

**Целью** данной работы является разработка технологии робастного оценивания и обоснование точности пространственной фототриангуляции со спутниковыми определениями координат центров проекции снимков.

В соответствии с поставленной целью решены следующие **задачи**:

1. Теоретически обоснованы новые алгоритмы робастного оценивания и на их основе составлены программы уравнивания пространственной фототриангуляции с КЦП робастными методами и методом наименьших квадратов при дополнении теории уравнивания фототриангуляции учетом:

- децентрации антенны GPS-приемника в уравнениях поправок GPS-измерений,
- коррелированности GPS-измерений, определяемой по разработанной в работе методике

2. Установлена зависимость точности пространственной фототриангуляции от точности определения КЦП, выявлена возможность повышения такой точности с обоснованием сокращения объемов планово-высотной привязки при аэрофотосъемке для крупномасштабного картографирования с GPS-поддержкой

3. Обоснованы:

- масштабы аэрофотосъемки для крупномасштабного картографирования при измеренных КЦП,
- возможность создания фотограмметрическим методом опорных межевых сетей для межевания земель сельскохозяйственного назначения, лесного фонда, водного и запаса,
- эффективность робастного оценивания в пространственной фототриангуляции с КЦП

4. Осуществлено внедрение результатов исследований на значительном объеме производственных объектов

**Объект и предмет исследований.** Объектом исследований являются модельные и реальные фототриангуляционные построения. А предметом исследований – закономерности распределения, накопления и локализации ошибок в фототриангуляции, построенной с измерением КЦП снимков.

**Методы исследований.** Теоретические методы: метод наименьших квадратов, теория ошибок измерений, аналитико-математические и статистические методы, вариационный метод. Экспериментальные методы: метод математического моделирования и анализ реальных данных.

**Научные положения, выносимые на защиту.**

1. Теоретическое обоснование новых алгоритмов робастного оценивания. Программы уравнивания пространственной фототриангуляции с КЦП робастными методами и методом наименьших квадратов при дополнении теории уравнивания фототриангуляции с учетом:

- децентрации антенны GPS-приемника в уравнениях поправок GPS-измерений;
- коррелированности GPS-измерений, определяемой по разработанной в работе методике.

2. Возможность сокращения опорных точек:

- в одномаршрутной фототриангуляции до 2,5-3,8 раза по сравнению с требованиями инструкции

- в блочной - число опорных точек сокращается до 4 по углам блока или возможно построение фототриангуляции вообще без опорных точек при достоверности КЦП снимков со средними квадратическими ошибками по осям 0,2 м. и менее

### 3. Обоснование:

- масштабов аэрофотосъемки при измеренных КЦП для построения крупномасштабных планов,

- возможности создания опорных межевых сетей фотограмметрическим методом для межевания земель населенных пунктов, сельскохозяйственного назначения, лесного фонда, водного и запаса

- повышения точности пространственной фототриангуляции с КЦП по сравнению с фототриангуляцией без определения координат центров проектирования GPS-методом.

- эффективности робастного оценивания в пространственной фототриангуляции с КЦП

### **Научная новизна выполненной работы.**

- дополнена теория уравнивания пространственной фототриангуляции при несовпадении центра антенны с центром проекции снимков;

- теоретически выведены и практически подтверждены новые алгоритмы робастного оценивания;

- установлена зависимость точности аэротриангуляции от точности КЦП, размеров блоков, длины маршрута и масштаба аэрофотосъемки, плотности планово-высотной геодезической опоры;

- обоснована методика определения коэффициента корреляции GPS измерений и его численного значения; алгоритм уравнивания пространственной фототриангуляции учитывает коррелированность данных измерений.

### **Практическая значимость полученных результатов:**

- разработана методика поиска грубых ошибок в сетях пространственной фототриангуляции; программы робастного оценивания (уравнивания) позволяют определить число грубых ошибок измерений фототриангуляции до 50% от числа избыточных измерений во всей сети вне зависимости от локализации грубых ошибок; локализация грубых ошибок в сетях составляет 70%;

- предложения по построению блочной пространственной фототриангуляции с использованием координат центров проекций при их средних квадратических ошибках 0,2 м и менее позволяют ограничиться лишь четырьмя планово-высотными опорными точками по углам блока; возможно построение такой фототриангуляции и без планово-высотной привязки снимков, но масштабы аэрофотосъемок должны быть увеличены до приведенных в диссертации величин.

- при построении маршрутной пространственной фототриангуляции с использованием КЦП число опорных точек сокращается в пределах 2,5-3,8 раза по сравнению с традиционной технологией;

- по выведенной в работе формуле можно определить коэффициент корреляции GPS измерений и учитывать его в уравнивании. В 50% случаев его значение можно принять равным 0,5;

- показана возможность использования блочной фототриангуляции при создании опорных межевых сетей для земель населенных пунктов, сельскохозяйственного назначения, лесного, водного фондов, запаса;

- результаты исследований внедрены на производственных объектах; подтверждена их достоверность и выполнено сравнение результатов уравнивания с производственными результатами.

**Личный вклад соискателя** заключается в теоретическом обосновании и разработке новых алгоритмов робастного оценивания, а также основанных на них программ робастного оценивания и уравнивания по МНК пространственной фототриангуляции с использованием КЦП, в разработке методики локализации грубых ошибок в пространственной фототриангуляции с КЦП, в обосновании сокращения числа опорных точек в названной фототриангуляции, в выводе формул и обосновании методики оценки коррелированности GPS-измерений, в проверке результатов исследований на производственных объектах, во внедрении результатов исследований в производство. Вся работа выполнена автором самостоятельно.

#### **Апробация результатов диссертации.**

Результаты диссертационной работы докладывались на заседаниях кафедры управления земельными ресурсами Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого (НовГУ), на ежегодных научных конференциях аспирантов и молодых ученых НовГУ с 2004 по 2008 годы, на семинарах ФГОУ «Управления земельными ресурсами» и конференциях, руководству Новгородского аэрогеодезического предприятия, Белорусского предприятия сельскохозяйственных аэрофотогеодезических изысканий, ФГУП «Аэрогеодезия» (Санкт-Петербург). В этих же предприятиях осуществлялось и внедрение результатов исследований.

**Публикации.** Основное содержание работы отражено в девяти публикациях, из них 5 работ опубликовано в журналах, рекомендованных ВАК России.

#### **Структура и объем диссертации.**

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 140 страницах машинописного текста, содержит 38 таблиц, 25 рисунков, 8 приложений и библиографический список из 164 наименований.

В первой главе выполнен аналитический обзор практических результатов робастного оценивания, методов построения аналитической пространственной фототриангуляции и спутниковых методов позиционирования, а так же практических результатов построения аналитической пространственной фототриангуляции с использованием координат центров проектирования в России и за рубежом.

Во второй главе теоретически обоснованы новые алгоритмы робастного оценивания с использованием методов оценки Хьюбера и Хэмпела. На основе общей теории построения аналитической пространственной фототриангуляции по способу связей и общей теории обоснования устойчивых методов обработки результатов геодезических измерений, разработаны алгоритмы совместного уравнивания аналитической пространственной фототриангуляции с использованием координат центров проектирования и алгоритмы робастного оценивания - уравнивания аналитической пространственной фототриангуляции с использованием координат центров проектирования. Дополнена теория уравнивания пространственной фототриангуляции при несовпадении центра антенны с центром проекции снимков. Обоснована методика определения коэффициента корреляции GPS измерений и его численного значения. На основе разработанных алгоритмов реализован пакет прикладных программ на языке C++ в среде «Microsoft Visual C++ 6.0».

Третья глава посвящена исследованиям точности построения сетей фототриангуляции с использованием КЦП снимков по двум алгоритмам уравнивания, определению зависимости точности построения фототриангуляционных сетей от различной точности определения КЦП аэроснимков спутниковыми системами, длине хода, масштаба аэрофотосъемки и числа опорных точек. Обоснованы масштабы аэрофотосъемки и плотность плановых сетей геодезической опоры, величина блока и длина маршрута для получения точности фотограмметрического сгущения, дополнены инструкции по фототриангуляции. Исследована эффективность программ робастного оценивания на возможность наибольшего выявления грубых ошибок.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Основные результаты исследований отражены в следующих положениях.

**Алгоритмы уравнивания пространственной фототриангуляции с использованием коррелированных КЦП и робастного оценивания в работе реализованы в двух вариантах:**

первый: Значения координат центров проектирования снимков  $X_S, Y_S, Z_S$  являются измеренными величинами. При уравнивании фотограмметрических сетей находят поправки во все неизвестные параметры, учитывают ошибки спутниковых определений КЦП снимков и находят поправки в приближенные значения центров проектирования снимков.

второй: Значения координат центров проектирования снимков  $X_S, Y_S, Z_S$  также являются измеренными величинами. Но при уравнивании фотограмметрических сетей поправки в КЦП снимков  $X_S, Y_S, Z_S$  не находят.

Уравнения поправок для фотограмметрических измерений пополняются уравнениями поправок измеренных координат центров проектирования. Вид первых уравнения известен, а вторых выведен с учетом смещения центра

антенны относительно центра проекций снимков. Вызванные углами Эйлера значения поправок в координаты антенны, даже при плановой аэрофотосъемке значительны. Их следует учитывать в уравнениях поправок GPS-измерений, если в процессе съемки элементы децентрации не определялись автономно.

Уравнения поправок в матричном виде для первого варианта уравнивания можно представить так:

$$\left. \begin{aligned} AX + L = V \\ B_x X + L_x = V_x \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

а для второго:

$$V = A_1 X_1 + A_2 X_2 + L. \quad (2)$$

Матрица  $B_x$  (1) в диссертации выведена с учетом децентрации GPS-антенны. Здесь вектор  $X$ - вектор определяемых параметров уравнений коллинеарности, состоящий из  $X_1, X_2$  – векторов, относящихся соответственно к линейным и угловым ЭВО.  $A, A_1, A_2$  –соответствующие матрицы,  $V, V_x$  – векторы поправок в измеренные координаты точек снимка и GPS- измерения.

Алгоритм, основанный на системе (1), условно назовем алгоритмом 1, а основанный на системе (2) – алгоритмом 2. При автономном определении координат центров проекций решения (1) и (2) приводят к одному и тому же результату. В соответствии с алгоритмами 1 и 2 составлены программы уравнивания и оценки точности одномаршрутных и блочных сетей фототриангуляции. Оценка точности сетей осуществляется как по расхождениям на контрольных точках, так и по внутренней сходимости по формуле:

$$K = \mu^2 \cdot Q, \quad (3)$$

где  $\mu$  - средняя квадратическая ошибка единицы веса;

$Q$  - обратная матрица нормальных уравнений в каждом из алгоритмов.

Поскольку в приведенных в диссертации алгоритмах учитывается коррелированность GPS-измерений, то возникает необходимость определения коэффициентов корреляции измерений по их результатам.

Обычно оценку точности измерения  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$  осуществляют по невязкам фигур. По таким невязкам можно вычислять как дисперсии измерения  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ , так и их корреляционные моменты.

Корреляционные моменты необходимы в дальнейшем для назначения весовых матриц  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$  для уравнивания.

Пусть имеется  $N$  замкнутых фигур GPS-построения. В каждой фигуре -  $n_i$  измерений базовых линий, где  $i$  изменяется от 1 до  $N$ . Тогда по известной формуле оценки точности измерений по невязкам фигур можно найти диагональные элементы матрицы:

$$\begin{pmatrix} m_x^2 & K_{\Delta x \Delta y} & K_{\Delta x \Delta z} \\ & m_y^2 & K_{\Delta y \Delta z} \\ & & m_z^2 \end{pmatrix}. \quad (4)$$



Пусть  $f_x, f_y, f_z$  - невязки по осям  $x, y, z$  в замкнутой фигуре GPS-построений. Для оценки недиагональных элементов  $K_{\Delta x \Delta y}, K_{\Delta x \Delta z}, K_{\Delta y \Delta z}$  в (4), запишем известное общее выражение для вычисления корреляционного момента величин  $f_x, f_y$ .

$$K_{f_x f_y} = M[(f_x - Mf_x)(f_y - Mf_y)], \quad (5)$$

Очевидно, что:

$$\begin{aligned} (f_x - Mf_x) &= (\Delta x_1 - M\Delta x_1) + (\Delta x_2 - M\Delta x_2) + \dots + (\Delta x_n - M\Delta x_n), \\ (f_y - Mf_y) &= (\Delta y_1 - M\Delta y_1) + (\Delta y_2 - M\Delta y_2) + \dots + (\Delta y_n - M\Delta y_n). \end{aligned} \quad (6)$$

Следовательно, после подстановки (6) в (5) и взятия математического ожидания каждого слагаемого, при условиях  $M[(\Delta x_i - M\Delta x_i)(\Delta y_i - M\Delta y_i)] = K_{\Delta x_i \Delta y_i}$  и  $M[(\Delta x_i - M\Delta x_i)(\Delta y_j - M\Delta y_j)] = 0, (i \neq j)$ , и принимая значения недиагональных элементов  $K_{\Delta x_1 \Delta y_1}, K_{\Delta x_n \Delta y_n}$  равными, получим:

$$K_{\Delta x \Delta y} = \frac{K_{f_x f_y}}{n}. \quad (7)$$

Здесь  $n$  – число базовых линий фигуры, обычно  $n=3$ .

В свою очередь  $K_{f_x f_y}$  можно найти по невязкам  $N$  фигур так. Принимая веса сумм приращений координат равными  $p = \frac{1}{n}$ , найдем корреляционные моменты величин  $u_x = f_x \sqrt{p}, u_y = f_y \sqrt{p}$ :

$$K_{u_x u_y} = \frac{1}{N} [f_x f_y p]. \quad (8)$$

Тогда согласно (7) будет:

$$K_{\Delta x \Delta y} = \frac{[f_x f_y p]}{N}. \quad (9)$$

Аналогично можно записать формулы для вычисления  $K_{\Delta x \Delta z}, K_{\Delta y \Delta z}$ . При этом в (9) необходимо подставить под знак суммы соответствующие невязки.

Формула (9) проверена при вычислении коэффициента корреляции измеренных приращений координат  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$  на реальных производственных объектах.

Коэффициент корреляции находится по известной формуле:

$$r_{xy} = \frac{K_{\Delta x \Delta y}}{m_x m_y}, \quad (10)$$

Для определения среднего весового значения коэффициента корреляции по всем сетям вес каждого из них определялся по формуле:

$$P_r = \frac{1}{\sigma_r^2}, \quad (11)$$

где  $\sigma_r = \frac{1-r^2}{\sqrt{n}}$ .

Средние взвешенные значения коэффициентов корреляции составили:  $r_{xy} = 0,50$ ;  $r_{xz} = 0,51$ ;  $r_{yz} = 0,47$ . Ранее было установлено, как среднее значение

коэффициента корреляции, так и значение его моды, полученное из статистических данных фирменных программ по каждой базовой линии, находилось в интервале 0,40-0,50.

Результаты настоящего эксперимента подтверждают это значение. Доказывается, что математическое ожидание для этих трех коэффициентов корреляции одинаково и стремится к указанной величине.

Определение коэффициентов корреляции по всем 758 фигурам привело к следующим результатам:  $r_{xy} = 0,37$ ;  $r_{xz} = 0,50$ ;  $r_{yz} = 0,35$ .

Однако в каждом конкретном случае возможны значительные его отклонения от данной величины.

На основе полученных данных можно сделать следующие выводы.

1. Следуя экспериментальным определениям коэффициентов корреляции измеренных приращений координат по невязкам фигур и вычислениям их по фирменным программам, их значения стремятся при большом числе измерений к одной и той же величине в интервале 0,4 - 0,5. В 50% случаев значение коэффициента корреляции, вычисленное по фирменным программам находится в интервале 0,4-0,5.

2. Однако в остальных случаях эти значения находятся в интервалах  $[-0,75; -0,02]$  и  $[0,10; 0,85]$ . При этом распределение коэффициентов корреляции характеризуется всегда отрицательной асимметрией в интервале от 0 до -2 и положительным эксцессом в интервале от 0 до 5.

3. Как следует из приведенных сетей с числом фигур 15 и 87 значения коэффициентов корреляции, вычисленные по невязкам фигур значительно отклоняются от интервала 0,4 – 0,5. Это вызвано тем, что их значения обусловлены не только геометрией созвездия спутников, но и другими факторами: ошибкой центрирования, опытом исполнителя, метеоусловиями, которые имеют случайный характер влияния.

4. Значения полученных коэффициентов корреляции характеризуют коррелированность в среднем по сети. Рекомендовать их для каждой линии конечно невозможно, так как в эксперименте подтверждаются отклонения от интервала 0,4– 0,5. В расчет следует принимать значения, полученные по невязкам фигур

#### **Теоретическое обоснование новых алгоритмов робастного оценивания с оценкой их точности.**

Одним из методов обработки результатов измерений, отягощённых грубыми ошибками, является вариационный метод, предложенный Хьюбером. В нем наличие грубых ошибок рассматривается как неопределённость функции плотности в количестве информации Фишера.

Решение вариационной задачи заключается при этом в поиске такого класса функций плотности, которые приводят к максимуму минимальной дисперсии в неравенстве Рао – Крамера:

$$D \leq \frac{1}{n \cdot J}, \quad (12)$$

где  $J = \int_{-\infty}^{+\infty} (\ln' y)^2 y dx$

$n$  – количество измерений;

$y$  – функция плотности, зависящая от оцениваемого параметра  $t$ .

Для достижения максимальной дисперсии (12) необходимо определить минимум количества информации Фишера  $J$ . Для определения экстремального значения функционала необходимо проварьировать  $J$  по  $y$  и вариации приравнять к нулю. Для этого следует определить дифференциал функционала по Фреше. Затем необходимо разделить составляющие на  $y^2$  и привести к единому функциональному приращению  $h$ . Для этого найдём производную:

$$\partial J = \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \left( \frac{2y'}{y} h \right)' - \left( \frac{2y'}{y} \right)' h - \left( \frac{y'}{y} \right)^2 h \right] dx. \quad (13)$$

где  $y$  – плотность распределения;  $h$  – приращение функции по Фреше.

Если на функцию плотности налагаются условия:  $\int_{-\infty}^{\infty} g(y) dx = c$ , то необходимо найти минимум функционала Лагранжа. Дифференцированием по Фреше и приравниванием производной подынтегрального выражения к нулю, получают выражение, соответствующее дифференциальному уравнению Эйлера-Лагранжа. Рассмотрим его решение при условии:  $\int_{-\infty}^{\infty} y dx = 1$ .

Выполнив преобразования по Хьюберу, и приняв  $u = \sqrt{y}$ , получим:

$$-4u'' + \lambda u = 0. \quad (14)$$

Чтобы найти общий интеграл уравнения (14) достаточно найти два линейно независимых частных решения. Найдя частные решения и подставив их в уравнение (14), запишем:

$$e^{kx} (-4k^2 + \lambda) = 0. \quad (15)$$

1. Рассмотрим случай, когда  $\lambda > 0$ . В этом случае корни характеристического уравнения действительны и различны. Общий интеграл имеет вид:

$$u = c_1 e^{\frac{\sqrt{\lambda}}{2}x} + c_2 e^{-\frac{\sqrt{\lambda}}{2}x}, \quad (16)$$

где  $c_1$  и  $c_2$  – произвольные постоянные.

Соответствующая оценочная функция М-оценивания  $\Psi = (\ln y)'$  равна:

$$\Psi = \frac{\sqrt{\lambda} \left( e^{\frac{\sqrt{\lambda}}{2}x} - e^{-\frac{\sqrt{\lambda}}{2}x} \right)}{e^{\frac{\sqrt{\lambda}}{2}x} + e^{-\frac{\sqrt{\lambda}}{2}x}}. \quad (17)$$

Функция  $\Psi$  должна быть непрерывной и ограниченной. Как видно из (17)  $\Psi$  представляет собой функцию гиперболический тангенс, которая является непрерывной. В диссертации доказано, что, при  $x \rightarrow \infty$  и при  $x \rightarrow -\infty$  функция  $\Psi$  имеет пределы, т.е. является ограниченной.

В соответствии с определением Хьюбера любые оценки, к которым можно отнести и устойчивые, ищутся на основе М-оценок:  $\sum_{i=1}^n \omega_i (x_i - \bar{t}_n) = 0$ .

Таким образом, можно определить значение оценки:

$$\bar{t}_n = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i x_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i}, \quad (18)$$

где  $\omega_i = \frac{\Psi(x_i - \bar{t}_n)}{x_i - \bar{t}_n}$ , а  $t$  – значение полученного приближения с номером  $n$ .

Отличие данной функции от других состоит в том, что данная функция непрерывна и приводит к единственному решению. Новый метод робастного оценивания базируется на оценочной функции (17), и это является развитием методов устойчивого оценивания.

2. В случае  $\lambda < 0$  корни характеристического уравнения представляют собой комплексные числа. Соответствующая оценочная функция  $\Psi$  будет:

$$\Psi = -\lambda \frac{\sin \frac{\sqrt{\lambda}}{2} x}{\cos \frac{\sqrt{\lambda}}{2} x} = -\lambda \cdot \operatorname{tg} \frac{\sqrt{\lambda}}{2} x. \quad (19)$$

Здесь  $\Psi$  представляет собой функцию тангенс, которая не является непрерывной и ограниченной, что не позволяет ее использовать для разработки робастных алгоритмов

Фундаментальной основой вывода устойчивых оценок по Хэмпелу является работа Шурыгина А.М. («Прикладная стохастика», М.: Финансы и статистика, 2000). Для вывода устойчивых оценок Хэмпел предложил искать функцию  $\Psi$ , исходя из формулы дисперсии  $D_t$  определяемого параметра:

$$D_t = \int_{-\infty}^{\infty} \left( \frac{\Psi(t)}{M(\Psi')} \right)^2 f(x) dx. \quad (20)$$

где  $\Psi$  – оценочная функция;

$f(x)$  – функция плотности распределения

Функциональная производная по плотности распределения здесь будет

$$\frac{\partial D_t}{\partial f(x)} = \frac{\int \Psi^2 dx}{\left( \int \Psi' f(x) dx \right)^2} h. \quad (21)$$

Величина  $\frac{\int \Psi^2 dx}{\left( \int \Psi' f(x) dx \right)^2}$  в работе Шурыгина А.М. названа

**неустойчивостью** оценки и обозначена  $W(f, \Psi)$ . В этой же работе находится такое  $\Psi$ , при котором достигается минимум этой величины в зависимости от  $\Psi$ . Тогда оценка параметра  $t$ , полученная при минимальной неустойчивости, называется оценкой максимальной устойчивости.

При этом на функцию  $\Psi$  налагаются следующие условия:

$$\begin{aligned}
 M(\Psi) &= 0 \\
 M(\Psi') &= -1, \quad \text{или} \\
 \int \Psi' f(x) dx &= -1
 \end{aligned} \tag{22}$$

Здесь  $M$  – знак математического ожидания.

В соответствии с этими условиями необходимо найти минимум функционала Лагранжа.

$$J = \int_{-\infty}^{+\infty} \left( \frac{\Psi^2}{\left( \int f'(x) \Psi dx \right)^2} + \lambda_0 \Psi f(x) - \lambda_1 f'(x) \Psi - 1 \right) dx. \tag{23}$$

Если случайная величина распределена по нормальному закону, то вариация (23) по  $\Psi$  приводит к решению :

$$\Psi = f' = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i - t)^2}{2\sigma^2}} \frac{(x_i - t)}{\sigma^2}. \tag{24}$$

Любые оценки, к которым можно отнести и устойчивые, ищутся на основе М-оценок. При равенстве:  $\sum_{i=1}^n \omega_i (x_i - \bar{t}_n) = 0$ , можно определить значение оценки по формуле (18).

На наш взгляд функция (24) является обоснованием метода моды.

Дисперсия определения параметров на основе (17), (24) составляет:

$$D_t = \frac{\pi}{2} \sigma^2. \tag{25}$$

$$D_t = 1,54 \sigma^2. \tag{26}$$

Из этого следует, что точность робастных оценок по дисперсии ниже аналогичных оценок, полученных по методу наименьших квадратов в 1,54 – 1,57 раза.

### **Алгоритмы робастного оценивания аэротриангуляции с использованием GPS.**

Уравнивание сети аналитической фототриангуляции с использованием робастных методов в диссертации осуществляется на базе разработанных выше двух алгоритмов уравнивания пространственной фототриангуляции с использованием координат центров проекции.

Реализацию робастного оценивания осуществим в трех вариантах:

- первый вариант по Хьюберу, известный как МНМ, применяемый в диссертации, был известен и ранее, реализует оценочную функцию  $\psi$  следующего вида:

$$\psi = \text{sign}(x - t), \tag{27}$$

Данная функция является обоснованием метода медианы. Она является ограниченной, но не непрерывной. Два других варианта, основанные на функциях (17) и (24), предложенные впервые, приводят к однозначным оценкам.

- второй вариант (разработан на основе подхода Хьюбера) реализует оценочную функцию вида:

$$\psi = \frac{e^{(x-t)} - e^{-(x-t)}}{e^{(x-t)} + e^{-(x-t)}}, \quad (28)$$

– третий вариант (по Хэмпелу) реализует оценочную функцию вида:

$$\psi = f'(x-t), \quad (29)$$

где  $x$  - результат измерений;

$t$  - оцениваемый параметр.

Используя формальный алгоритм метода наименьших квадратов, все варианты сводятся к минимизации известной квадратичной формы:  $\Phi = \sum V^T P V$ , где  $V$  - вектор поправок в измерения;  $P$  - весовая матрица.

Для каждого варианта данная весовая матрица задается так:

$$\text{– для первого варианта } P = \begin{pmatrix} \frac{1}{|V_1|} & & & \\ & \frac{1}{|V_2|} & & \\ & & \dots & \\ & & & \frac{1}{|V_n|} \end{pmatrix}; \quad (30)$$

$$\text{– для второго варианта } P = \begin{pmatrix} \frac{a_1}{V_1} & & & \\ & \frac{a_2}{V_2} & & \\ & & \dots & \\ & & & \frac{a_n}{V_n} \end{pmatrix}, \quad (31)$$

$$\text{где } a_i = \left( \frac{e^{-V_i} - e^{V_i}}{e^{-V_i} + e^{V_i}} \right);$$

$$\text{– для третьего варианта } P = \begin{pmatrix} P_1 & & & \\ & P_2 & & \\ & & \dots & \\ & & & P_n \end{pmatrix}, \quad (32)$$

$$\text{где } P_i = e^{-\frac{(V_i)^2}{2\sigma^2}}.$$

Если ввести обозначения для первого алгоритма:

$$A = \begin{pmatrix} A_1 & A_2 \\ E & 0 \end{pmatrix}, \quad X = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \end{pmatrix}, \quad L_1 = \begin{pmatrix} L \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (33)$$

то корреляционная матрица определяемых величин в первом алгоритме составит:

$$K_X = \mu^2 N^{-1} A^T P K_{L_1} P^T A N^{-1}, \quad (34)$$

где  $N = A^T P A$ ,

а во втором:

$$K_{X_2} = \mu^2 N_1^{-1} A_2^T P_L K_L P_L^T A_2 N_1^{-1}. \quad (35)$$

При этом уравнивание выполняется на основе минимизации формы:

$$\Phi = V^T P V + V_x^T P_x V_x, \quad (36)$$

где  $P_x$  - весовая матрица GPS-измерений;

$V_x$  - вектор поправок GPS-измерений;

$V$  и  $P$  - соответственно вектор поправок и матрица весов измерений координат точек снимка.

На основе разработанных алгоритмов были составлены и программы робастного уравнивания.

### **Обоснование точности маршрутной и блочной аэрофототриангуляции с использованием КЦП.**

Для обоснования необходимой и достаточной точности фотограмметрических маршрутов или блоков были выполнены исследования влияния точности КЦП, длины маршрута и блока, числа опорных наземных точек и масштаба съемки на результаты уравнивания фототриангуляции. Эксперимент проводился на макетных и реальных маршрутах и блоках. В начале исследования выполнены на модельных маршрутных построениях с числом снимков от 5 до 44.

Экспериментальная проверка результатов уравнивания макетных маршрутов выполнена на производственных объектах Белорусского предприятия сельскохозяйственных аэрофотогеодезических изысканий (БелПСХАГИ).

Первым объектом исследования являлась многомаршрутная сеть, созданная на базе аэрофотосъемки административного района. Количество маршрутов в сети составило 12. Каркасные маршруты в обработку не принимались. Наибольшее число снимков в маршруте 42. Аэрофотосъемка производилась камерой типа RC30 с фокусным расстоянием 153,104мм. Средняя фотограмметрическая дисторсия объектива находилась в пределах от 0,6 до 1,8 микрона при удалениях точек снимка от центра в интервале 10 – 110 (мм). Съемка выполнялась на пленку типа KODAK PANATOIC X2412. Разрешающая способность снимка – 100 линий на миллиметр. Координаты главной точки снимка составили  $x_0 = 0,004$  мм,  $y_0 = 0,002$  мм. Координаты центров проектирования определялись GPS-методом. Средние квадратические ошибки координат по каждой оси находились в пределах от 0,11м до 0,34м. Осуществлялось уравнивание по составленной диссертантом программе по каждому маршруту с числом исходных пунктов по два на его концах.

По результатам уравнивания макетных маршрутов были сделаны следующие выводы:

1. Ошибки аэротриангуляции получаются одинаковыми как при спутниковых данных усредненной точности, так и в случае, когда средние квадратические ошибки высот спутниковых данных больше по плановым осям до двух раз.

2. Если значение средней квадратической ошибки координат центров проекций увеличивать, то соответственно увеличиваются средние квадратические ошибки планового и высотного положения наиболее слабо

определяемых пунктов маршрутной сети аэротриангуляции. Такое увеличение не наблюдается лишь для очень коротких маршрутов с числом снимков 5 и менее.

3. Точность маршрутного ряда аэротриангуляции с КЦП зависит от масштаба ряда, точности КЦП и числа снимков. В зависимости от требований, предъявляемых к получаемому планово-картографическому материалу, можно устанавливать необходимые параметры съемки.

Конечные результаты исследований макетных и реальных маршрутов приведены в таблице 1. Отметим, что в исследованиях с единичным весом приняты измерения координат точек на снимках. Средняя квадратическая ошибка измеренных координат точек макетного снимка принята равной 0,010мм.

Таблица 1

Сравнение точности реальных и макетных объектов.

№ п/п	Число снимков	Реальные значения			Значения найденные по макетным снимкам		Расхождения, в %	
		$\mu$ (мкм)	$m_z$ (м)	$m_{xy}$ (м)	$m_z$ (м)	$m_{xy}$ (м)	по $m_z$	по $m_{xy}$
2	42	3,8	0,39	0,38	0,39	0,42	0	10
3	38	3,5	0,47	0,35	0,33	0,36	30	2
4	38	3,8	0,43	0,41	0,36	0,40	20	2
5	38	4,7	0,46	0,44	0,44	0,48	5	10
6	35	4,1	0,42	0,36	0,37	0,41	10	10
7	35	3,9	0,38	0,35	0,36	0,39	5	10
8	32	4,0	0,29	0,32	0,35	0,40	8	20
9	32	3,8	0,31	0,31	0,34	0,38	10	20
10	28	3,7	0,32	0,31	0,31	0,36	10	30
11	28	3,1	0,25	0,25	0,26	0,30	4	10
12	9	2,6	0,19	0,14	0,15	0,5	20	0

Экспериментальная проверка на производственных объектах подтвердила достоверность исследований по точности построения фотограмметрических сетей с использованием КЦП по макетным снимкам. Отклонение результатов, полученных по макетным снимкам от реальных данных, в относительной мере не превышает 30%.

Определено, во сколько раз можно уменьшить масштаб и число опорных точек при фотограмметрическом сгущении с использованием GPS.

Пусть при масштабе аэрофотосъемки  $1:m_1$  и числе снимков в маршруте  $N_1$  плановая точность фототриангуляции составит величину:  $m_{xy} = c$ .

При этом под точностью также будем понимать максимальную среднюю квадратическую ошибку в плане и по высоте. Будем полагать, что в маршруте имеется 4 опорных точки – по две на его концах.

Найдем, во сколько раз уменьшится здесь число опорных точек по сравнению со съемкой в масштабе  $1:m_2$  и числом снимков в маршруте  $N_2$  при той же точности. В диссертации показано, что число опорных точек во втором случае будет большим первого случая в:



$$k = \frac{\frac{N_1 m_1}{N_2 m_2} + 1}{2} \text{ раз} \quad (37)$$

Аналогичные расчеты выполнены для всех масштабов табл.17 инструкции о топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500, результаты которых приведены в табл.2.

Для расширения исследований на блочные построения были найдены максимальные средние квадратические ошибки планового и высотного положения в зависимости от средних квадратических ошибок ( $m_s$ ) определения КЦП; масштабов аэрофотосъемки, величины блока (числа снимков в маршруте и числа маршрутов) и числа опорных точек.

В исследованиях принимались следующие блоки с числом снимков в маршруте и числом маршрутов соответственно: 5×2; 11×4; 22×8; 42×12.

Таблица 2

Дополнения к инструкции о топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500.

Масштаб плана	Масштаб фотографирования	Максимальная средняя квадратическая ошибка сгущения в плане (м)	Средняя квадратическая ошибка измерения координат точек снимка (мкм)	Участок съемки между опорными точками (снимок)		Число сокращения опорных точек
				без КЦП	с КЦП	
1:5000	1:20000	0,8	10	6	18	2
	1:15000			7	44	3,5
	1:10000			11	44	2,5
1:2000	1:8000	0,38	10	5	33	3,8
	1:4500			9	44	3
1:1000	1:5000	0,25	10	5	44	5
	1:2400			11	более 44	более 2,5
1:500	1:3000	0,11	10	5	22	2,5

Учет опорных точек осуществляется при следующих вариантах их расположения:

- вариант 1 - по две опорные точки на концах маршрутов соответствующих блоков; тогда число опорных точек по блокам равнялось соответственно: 6, 10, 18, 12;

- вариант 2 – по четыре опорные точки на блок (по углам блока);

- вариант 3 – без опорных точек.

Подробные результаты расчетов при точности измерения координат точек снимка, равной 10мкм, по каждому блоку приведены в диссертации.

При обосновании плотности опорных точек формула (37) справедлива и для блочных построений. Но, если в одномаршрутных сетях ряд опознаков состоит из двух точек, то в блочных он будет состоять из  $r + 1$  точки, где  $r$  – число маршрутов.

Анализируя результаты уравнивания блоков, был сделан следующий вывод: при проектировании съемок с КЦП при  $m_s = 0,2$  м для блоков протяженностью до 42 снимков в маршруте можно не учитывать требования инструкции по длине участка съемки между опознаками, а определять только 4 опознака по углам блока (табл. 3); при точности КЦП в 0,2 м возможна блочная АФС и без опорных точек, но масштабы съемок должны быть крупнее (табл. 5). В табл. 4 приведены рассчитанные параметры фототриангуляции, где  $m_u, m_4, m_0$  – максимальные средние квадратические ошибки сгущения в плане, полученные соответственно при пространственной фототриангуляции, развиваемой в соответствии с инструкцией, при наличии лишь четырех опорных точек, без опорных точек вообще;  $v_u, v_4, v_0$  – средние ошибки, соответствующие увеличенным в 1,3 раза названным максимальным средним квадратическим ошибкам.

Таблица 3

Допуски к параметрам АФС  
при наличии КЦП и блочном фотограмметрическом сгущении

Масштаб плана	Масштаб фотографирова ния	Максимальная средняя квадратическая ошибка сгущения в плане, м	Средняя квадратическая ошибка измерения координат на снимке, мкм	Участок съемки между опорными точками в снимках		Число сокращения опорных точек
				Без КЦП	С КЦП	
1:5 000	1:20 000	0,53	10	6	До 42	(r+1)/2
	1:15 000		10	7		
	1:10 000		10	11		
1:2 000	1:8 000	0,32	10	5	До 42	(r+1)/2
	1:4 500		10	10		
1:1 000	1:5 000	0,21	10	5	До 42	(r+1)/2
	1:2 400					
1:500	1:3 000	0,11	10	5	До 42	(r+1)/2

Если использовать пункты фотограмметрического сгущения в качестве пунктов ОМС, то исходя из табл. 4 можно рекомендовать следующие масштабы аэросъемок для ведения земельного кадастра: для земель населенных пунктов – 1:2400 с инструктивной планово-высотной привязкой; для земель сельскохозяйственного назначения – 1:8000, 1:10000 с привязкой лишь к 4 опорным точкам; для земель лесного фонда, водного, запаса и других – 1:20000 и крупнее с привязкой к 4 опорным точкам.

Отсюда следует, что данные масштабы аэрофотосъемки для целей кадастра соответствуют инструкции. Но при этом опорная межевая сеть будет создаваться фотограмметрическим методом.

Таблица 4

## Точностные параметры блочной пространственной фототриангуляции

Масштаб плана	Масштаб съемки	Максимальные средние квадратические ошибки планового положения точек						Максимальные средние ошибки			Расхождения на контрольных точках в соответствии с инструкцией	
		Модельные			Увеличенные в 1,3 раза с учетом отклонений от реальных							
		$m_u$	$m_4$	$m_0$	$m_u \cdot 1,3$	$m_4 \cdot 1,3$	$m_0 \cdot 1,3$	$v_u$	$v_4$	$v_0$	средние	предельные
1:5 000	1:20 000	0,68	0,58	0,79	0,88	0,75	1,03	0,71	0,60	0,82	1,50	3,00
	1:15 000	0,54	0,44	0,59	0,70	0,57	0,77	0,56	0,46	0,61		
	1:10 000	0,44	0,31	0,40	0,57	0,40	0,52	0,46	0,32	0,42		
1:2 000	1:8 000	0,25	0,26	0,34	0,33	0,34	0,44	0,26	0,27	0,35	0,60	1,20
	1:4 000	0,14	0,20	0,26	0,18	0,26	0,34	0,15	0,21	0,27		
1:1 000	1:5 000	0,16	0,22	0,27	0,21	0,29	0,35	0,17	0,23	0,28	0,30	0,60
	1:2 400	0,08	0,13	0,19	0,10	0,17	0,25	0,08	0,14	0,20		
1:500	1:3 000	0,10	0,15	0,22	0,13	0,20	0,29	0,10	0,15	0,23	0,15	0,30

Из сравнения средних ошибок со средними расхождениями на контрольных точках, рекомендуемыми инструкцией по фотограмметрическим работам, рассчитаны масштабы аэрофотосъемок с КЦП (табл. 5) для приведенных масштабов планов.

Таблица 5.

## Параметры аэрофотосъемки с КЦП

Масштаб плана	Рекомендуемые масштабы аэрофотосъемки	
	с привязкой к 4 опорным пунктам	без привязки
1:5 000	1:20 000	1:20 000
	1:15 000	1:15 000
	1:10 000	1:10 000
1:2 000	1:20 000	1:15 000
	1:15 000	1:10 000
	1:10 000 и более	
1:1 000	1:8 000	1:5 000
	1:5 000 и более	1:4 000 и более

На 32 блочных и 12 маршрутных производственных объектах проверена высокая точность пространственной фототриангуляции с КЦП. В основном при средней квадратической ошибке измерения координат точек снимка менее 6,8 микрон точность высотного положения определяемых точек находится в пределах 1/6000-1/15000 высоты фотографирования..

**Анализ эффективности алгоритмов и программ робастного оценивания на возможность наибольшего выявления грубых ошибок.**

Данный эксперимент непосредственно производился на модельных и производственных фотограмметрических сетях с числом снимков в маршруте от 5 до 44 и до 12 маршрутов в блоке по двум разработанным алгоритмам программ. Число грубых ошибок увеличивалось от 1 до 2/3 от числа избыточных измерений.

На основе данного эксперимента был сделан следующий вывод: разработанные механизмы робастного оценивания позволяют одновременно выявить число грубых ошибок, равное  $\frac{1}{2}$  числа избыточных измерений. Вероятность локализации грубых ошибок составляет 70%. При этом поиск грубых ошибок осуществляется следующим образом.

1. По вектору поправок находятся те, которые превосходят  $3\mu$ , где  $\mu$  - средняя квадратическая ошибка измерения координат точек снимка.

2. По номеру строки и номеру столбца в программе вычисляется номер по порядку измеряемой точки в файле измерений.

3. В файле уравненных значений координат грубо измеренная точка выделяется по искаженным координат.

При этом следует заметить, что точность всего фотограмметрического построения значительно снижается. Следовательно, для непосредственного уравнивания с грубыми ошибками описанные программы не подходят, но для выявления грубых ошибок – являются эффективным средством.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Основные результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Теоретически обоснованы и разработаны новые алгоритмы робастного оценивания и соответствующие им программы робастного уравнивания пространственной фототриангуляции. Новые алгоритмы робастного оценивания базирующиеся на функциях (17) и (24), приводят к однозначному решению в отличии от алгоритмов, базирующихся на  $L_p$ -оценивании. Данные функции предложены впервые, и являются развитием методов устойчивого оценивания.

Установлено, что решающими функциями для однозначного робастного оценивания могут быть лишь функции, удовлетворяющие условиям устойчивости: непрерывности и ограниченности. В работе обоснована и точность определения параметров названными робастными методами. Доказано, что точность робастных методов уступает точности метода максимального правдоподобия, в частности методу наименьших квадратов. Поэтому их можно рекомендовать лишь для отбраковки грубых измерений. После этого уравнивание необходимо выполнить по методу наименьших квадратов.

2. Выведена формула оценки коррелированности результатов GPS-измерений по невязкам фигур. Установлено, что в 50 % случаев коэффициент корреляции измеренных приращений координат может быть принят равным 0,5. Поскольку в существующих технологиях определение координат центров проектирования осуществляется относительно 2-3 базовых станций,

то по полученным невязкам можно определять названный коэффициент корреляции и в случае аэрофотосъемки.

3. Для исследования точности робастных алгоритмов и точности пространственной фототриангуляции с использованием координат центров проектирования в диссертации предложены два алгоритма уравнивания аэротриангуляции способом связей с использованием коррелированных КЦП и робастного оценивания (1) и (2). Дополнена теория уравнивания пространственной фототриангуляции. Установлено, что уравнения поправок GPS-измерений должны включать углы наклона снимков в случае смещения центра антенны относительно центра проекций снимка. В случае же применения стабилизирующих устройств для съемки редукции фазового центра антенны должны вычисляться автономно.

4. Разработана методика локализации грубых ошибок в пространственной фототриангуляции. Эффективность отбраковки грубых ошибок по этим программам равна 50 % числа избыточных измерений во всей сети вне зависимости от локализации грубых ошибок. Вероятность локализации грубых ошибок составляет величину 70%.

5. Установлена зависимость точности одномаршрутной фототриангуляции от масштаба съемки, точности определения координат центров проекций (КЦП) и длины ряда. Установлено, что благодаря КЦП число опорных точек для одномасштабного случая согласно табл. 2 (к) может быть уменьшено от 2 до 3,8 раза, длина ряда может быть увеличена от 3 до 5 раз по сравнению с традиционной технологией фототриангуляции без КЦП. Результаты исследований подтверждаются проверкой на производственных объектах.

6. Блочную пространственную фототриангуляцию можно создавать при наличии лишь 4 опорных точек, расположенным по углам блока. При точности КЦП в 0,2м возможна блочная АФС и без опорных точек, но для достижения равноточности ее со съемкой с 4 опорными точками по углам блока масштаб должен быть крупнее (табл.4).

7. Следуя точности блочной пространственной фототриангуляции с определением КЦП, приведенной в табл. 4, точки фотограмметрического сгущения могут служить в качестве пунктов опорной межевой сети (ОМС). Следуя этой же таблице масштабы аэрофотосъемок должны быть:

- для земель населенных пунктов не менее 1:2400;
- для земель сельскохозяйственного назначения – не менее 1:10 000;
- для земель лесного фонда, водного, запаса и др. – не менее 1:20 000.

Во всех случаях рекомендуемая привязка блока к 4 опорным пунктам на его углах.

8. Результаты исследований по точности пространственной фототриангуляции подтверждаются проверкой на значительных по протяженности производственных объектах. Подтверждается высокая точность маршрутной и блочной пространственной фототриангуляции. При средней квадратической ошибке измерения координат точек снимка менее 6,8 микрон относительная точность планового и высотного положения

определяемых пунктов находится в пределах  $\frac{1}{6000} - \frac{1}{10000}$  высоты фотографирования.

Точностные показатели с 20 – 30% погрешностью можно переносить с модельных построений на производственные. Однако для получения гарантированных оценок для параметров аэрофотосъемки модельные показатели рекомендуется увеличить в 1,3 раза, что осуществлено в работе при обосновании съемок при построении планов (табл. 4) соответствующих масштабов.

9. Данные проверки на производственных объектах подтверждают достоверность составленных в диссертации программ уравнивания и обоснованность методики исследований.

**Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:**

1. Ярмоленко А.С., Шошина Е.Ю. Обоснование устойчивых методов обработки результатов измерений на основе вариационного подхода Хьюбера // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005.– № 3.– С.7–18.

2. Ярмоленко А.С., Шошина Е.Ю. Определение коэффициента корреляции приращений координат, измеренных GPS-методом. // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005.– №.2 – С. 15-23.

3. Ярмоленко А.С., Шошина Е.Ю. Устойчивые оценки по Хэмпелу // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005.– №.4 – С.53-62.

4. Шошина Е.Ю. Точность пространственной фототриангуляции с использованием координат центров проектирования. Деп. в ОНТИ ЦНИИГАиК 26.03.07 №889 – гд 2007 Деп. -12с.

5. Шошина Е.Ю. Определение коэффициента корреляции измеренных GPS-методом приращений координат // XI Научная конференция преподавателей, аспирантов и студентов НовГУ: тезисы докладов аспирантов, соискателей, студентов. / В. Новгород. – 5–10 апреля 2004. – С. 105-106.

6. Ярмоленко А.С., Шошина Е.Ю. Установление точности одномаршрутной пространственной фототриангуляции с использованием координат центров проекции // Геодезия и картография. – 2007.– № 1.– С.46-52.

7. Шошина Е.Ю. Точность пространственной фототриангуляции без опорных точек с использованием центров проектирования// XIV Научная конференция преподавателей, аспирантов и студентов НовГУ: тезисы докладов аспирантов, соискателей, студентов. / В. Новгород. – 2–7 апреля 2007- С.125-127.

8. Шошина Е.Ю., Ярмоленко А. С. Точность блочной пространственной фототриангуляции с использованием КЦП. // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2008.– №.1 – С.109-118.

9. Шошина Е.Ю. Учет внецентренности GPS-антенны в алгоритме уравнивания аналитической фототриангуляции с использованием GPS-измерений// XV Научная конференция преподавателей, аспирантов и студентов НовГУ: тезисы докладов аспирантов, соискателей, студентов. / В. Новгород. – 31 марта–5 апреля 2008- С. 131-133.

**ШОШИНА ЕКАТЕРИНА ЮРЬЕВНА**

**АВТОРЕФЕРАТ**

Лицензия ЛР №020815 от 21.09.98

---

Подписано в печать .11.2008 Формат 60×90 1/16 усл. печ. Л.1.3  
Тираж 100 экз. Заказ № Издательско-полиграфический центр  
Новгородского государственного университета им. Ярослава Мудрого.  
173003, Великий Новгород, ул. Б. Санкт-Петербургская, 41