

ПРИМЕНЕНИЕ СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ТОЧЕК И ОРИЕНТАЦИИ УЧАСТКОВ ПОВЕРХНОСТИ ТЕЛА СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

А.С. Павлюк, А.С. Баранов, С.В. Сафронов

На основании известного способа определения координат точек и ориентации поверхности тела сложной формы предлагается его применение для определения координат точек земной поверхности. Представлено описание реализации способа, основанного на анализе формы и размеров меток и процесса получения исходных данных. Способ позволяет моделировать поверхность на ЭВМ.

Ключевые слова: профиль земной поверхности, координаты центра метки, анализ результатов измерений, моделирование поверхности.

Существует несколько известных способов определения профиля поверхности земли. Но все они достаточно трудоемки и требуют специального дорогостоящего оборудования для своей реализации. В связи с этим была предпринята попытка применить для определения профиля земной поверхности способ определения координат точек и ориентации участков поверхности тела сложной формы, который был реализован при определении лемешно-отвальной поверхности плуга.

Точное описание способа и его реализация предложены в источнике [1].

Для реализации задачи определения профиля земной поверхности использовались метки круглой формы диаметром 20 см, их количество - 100 шт. Метки размещали на опорной поверхности в 10 рядов по 10 шт. в ряд, примерно через 0,5 метра между центрами меток (рисунок 1). Восприятие изображения поверхности земли осуществляли с помощью фотоаппарата с разрешающей способностью 18 Мпс. Были выполнены несколько снимков с разных точек расположения объектива: объектив располагали строго над центром крайней метки, над центром средней метки в крайнем ряду, над центром центральной метки во всей раскладке, которые в данный момент являлись базовыми точками. Точка расположения объектива определялась по отвесу. Съемка велась с высоты 21 метр. Из каждого положения было выполнено по 3 снимка. В результате съемки несколько изображений меток трансформировались из круглой формы в эллипсы с разным соотношением диагоналей, что свидетельствовало

об изменении кривизны опорной поверхности.

Для последующего анализа изображения с помощью компьютерной программы требовалось определить натурные координаты каждой метки на опорной поверхности, что и было сделано при размещении меток с помощью рулетки.



Рисунок 1 - Изображение исследуемой поверхности

После получения изображения его обрабатывали с помощью компьютерной программы, написанной на языке C-Sharp. Программа преобразует цветное растровое изображение в черно-белое, и определяет непосредственное расположение каждой метки. Для этого необходимо определить границы каждой метки. Это реализовано с помощью анализа растра на предмет распознавания серых зон

изображений меток и отнесения их к черным или белым областям. Черной считается область с количеством черных точек более 50%. После определения границ меток необходимо нанести в программе центры этих меток. Для достижения этой цели программа рассчитывает длины хорд, соединяющих две соседние точки изображений меток. Требуется найти наибольшее и наименьшее расстояние между двумя противоположными точками на изображении метки. Эти линии и будут являться диагоналями эллипса либо диаметрами круга изображения метки. Но также необходимо выполнение еще одного условия - линии, соединяющие противоположные точки на изображении метки, должны быть перпендикулярны друг другу. Пересечение этих линий будет соответствовать центру метки.

Анализ результатов измерений воспринимаемого изображения осуществляется на основе сравнения размеров и формы меток, полученных при восприятии изображения поверхности, с размерами и формой эталонной метки.

Так, по соотношению размеров метки, полученных при восприятии изображения указанной поверхности, и размеров эталонной метки определяют удаление от исследуемой поверхности, то есть вертикальную координату точки поверхности относительно горизонтальной базовой поверхности расположения эталонной метки. А по соотношению формы метки, полученной при восприятии изображения, и формы эталонной метки определяют угол и направление наклона участка этой поверхности относительно базовой поверхности.

Для определения остальных координат контролируемых точек поверхности исследуемого участка земли полученные данные по вертикальным координатам контролируемых точек и направлению наклона участков этой поверхности относительно базовой поверхности подвергают обработке на ЭВМ, в процессе которой вводят координатные оси.

Далее по известным соотношениям, приведенным в [2], определяются координаты выявленного центра каждой метки.

Особенности, которые необходимо учитывать при реализации данного способа при исследовании земной поверхности:

1) при восприятии изображения оптическим фиксирующим прибором необходимо учитывать тень, которую может отбрасывать на метку сама исследуемая поверхность, потому что при анализе изображения с помощью компьютерной программы затененные

области могут быть некорректно отсечены от изображения меток;

2) расположение меток на исследуемой поверхности должно быть выполнено с условием расположения каждой точки метки в одной плоскости;

3) угловое расположение оптического фиксирующего прибора должно быть четко определенным: прибор должен располагаться либо горизонтально, либо под каким-то известным углом к опорной плоскости;

4) чем больше разрешение оптического фиксирующего прибора, тем точнее определение координат точек исследуемой поверхности;

5) чем меньше площадь воспринимаемого участка поверхности, тем меньше искажение изображения за счет объектива.

Участок исследуемой поверхности, рассчитанный на ЭВМ, изображен на рисунке 2.

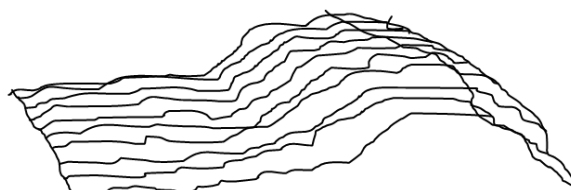


Рисунок 2 - Участок исследуемой поверхности, рассчитанный на ЭВМ

Однако особенностью применения спутниковых навигационных систем является недостаточная во многих случаях точность измерения координат расположения антенны приемника. Применяемые способы повышения точности замеров, например, путем проведения многократных замеров или использования дифференциального режима работы со стационарными наземными маяками не всегда могут быть использованы или дать требуемый эффект. Так, имеются рекомендации [3] по вычислению координат путем усреднения результатов нескольких измерений (не менее 10) или применения приемников спутниковой навигации с функцией усреднения параметров за период времени 1 минута (при неподвижном приемнике). Однако для движущейся установки эти способы не применимы.

Метод дифференциальной навигации может обеспечить сантиметровую точность [4]. При этом используется контрольное устройство, называемое базовой станцией. Базовая станция располагается в точке с известными географическими координатами и

ПРИМЕНЕНИЕ СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ТОЧЕК И ОРИЕНТАЦИИ УЧАСТКОВ ПОВЕРХНОСТИ ТЕЛА СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

сравнивает известные координаты (полученные в результате геодезической съёмки) с измеренными координатами по сигналам навигационных спутников. Затем формируются поправки, которые передаются потребителям по каналам связи. Приемник навигационной системы, получая по разным каналам сигналы, как от навигационных спутников, так и от базовой станции, более точно определяет свое положение. Этот метод требует более сложного оборудования, наличия базовой станции с ограниченным радиусом действия (до 500 км).

Для повышения точности измерений в АлтГТУ разработан способ определения положения движущегося объекта, включающий использование спутниковой навигационной системы с приемниками [5].

Повышение точности достигается тем, что антенны приемников жестко связаны с корпусом движущегося объекта, определение траектории движения и положения движущегося объекта в пространстве для каждого момента проведения измерения координат производят путем определения координат положения не менее трех антенн приемников спутниковой навигационной системы, зафиксированных в точках, не лежащих на одной прямой. Для этого антенны приемников или приемники с антеннами устанавливаются на концах жестких штанг, жестко закрепленных на корпусе движущегося объекта, вне его габаритных размеров, а по положению данных антенн либо приемников с антеннами устанавливают в каждый момент проведения измерения координат положение движущегося объекта и его угловых отклонений при движении относительно неподвижной системы отсчета.

Повышение точности определения угловых отклонений движущейся объекта обусловлено выносом на концах жестких штанг, жестко закрепленных на движущемся объекте, вне его габаритных размеров, антенн приемников спутниковой навигационной системы или приемников с антеннами, вследствие чего линейные перемещения, соответствующие угловым отклонениям приемников или их антенн, становятся значительно большими, чем линейные перемещения, соответствующие угловым отклонениям любой из точек движущегося объекта, даже при отклонении на небольшой угол. Следовательно, появляется возможность фиксирования незначительных угловых отклонений движущегося объекта за счет интенсивного увеличения линейной ам-

плитуды перемещения приемников или их антенн посредством выноса данных антенн либо антенн с приемниками на концах жестких штанг, жестко закрепленных на движущемся объекте, вне его габаритных размеров.

Таким образом, использование такого способа по сравнению с другими обеспечивает повышение точности определения угловых отклонений мобильной машины путем назначения и определения положения в пространстве не менее, чем трех точек, не лежащих на одной прямой, зафиксированных на концах жестких штанг, закрепленных на движущемся объекте, и выходящих за его габаритные размеры.

Сравним возможности применения предложенного способа со способом непосредственного определения положения движущегося объекта в пространстве при помощи одного приемника спутниковой навигационной системы, установленном на движущемся объекте. В качестве движущегося объекта рассмотрим установку для определения характеристик профиля опорной поверхности [6].

Конструкцией установки предусматривается определение высоты над базовой горизонтальной плоскостью точек контакта двух боковых колес с опорной поверхностью при помощи спутниковой навигационной системы.

Разместим на жестких штангах, связанных с рамой измерительного устройства антенны или антенны совместно с приемниками навигационной системы. Учитывая, что число антенн должно быть не менее трех, расположим две антенны №1 и №2 симметрично в поперечно-вертикальной плоскости, проходящей через центры опорных колес, вблизи плоскости рамы, с наибольшим удалением от продольной оси установки. Точку *K*, соответствующую середине расстояния между антеннами будем называть контрольной.

Две других антенны №3 и №4 расположены в одной горизонтальной плоскости с первыми, в передней и задней частях установки в продольно-вертикальной плоскости установки. Будем называть плоскость, в которой расположены антенны приемников измерительной плоскостью. Ориентация измерительной плоскости в пространстве будет характеризовать форму макропрофиля на данном участке.

При движении установки по неровностям опорной поверхности антенны приемников перемещаются в вертикальном направлении

относительно базовой горизонтальной плоскости совместно с осями опорных колес. Образуется два вида колебаний антенн приемников - от неровностей микрорельефа (с высокой частотой) и от неровностей макрорельефа (с низкой частотой). При обработке сигналы о колебаниях с высокой частотой необходимо отфильтровывать, а с низкой частотой - подвергать обработке.

В каждый момент времени положение передней оси с опорными колесами относительно базовой горизонтальной плоскости для характеристики макропрофиля определяется следующими параметрами:

h - высота контрольной точки K относительно базовой плоскости;

α - угол наклона измерительной плоскости относительно базовой плоскости в продольном направлении;

β - угол наклона измерительной плоскости относительно базовой плоскости в поперечном направлении.

Обозначим геометрические параметры при работе установки:

h_1, h_2, h_3 и h_4 - текущая высота антенн №1, №2, №3 и №4 относительно базовой плоскости;

$2a$ - расстояние между антеннами №1 и №2;

$2b$ - расстояние между антеннами №3 и №4;

Для удобства расчетов принимаем $a = b$, и считаем, что антенны №3 и №4 располагаются на равном расстоянии a от точки K . Тогда антенны располагаются на окружности радиусом $R = a$, лежащей на измерительной плоскости.

Считаем, что положение точки K определяет размещение антенн на окружности радиуса R , лежащей на измерительной плоскости.

Углы наклона измерительной плоскости к базовой определяются следующими зависимостями:

в продольной плоскости:

$$\arctg \alpha = (h_1 - h_2) / 2R;$$

в поперечной плоскости:

$$\arctg \beta = (h_3 - h_4) / 2R.$$

Высота контрольной точки над базовой плоскостью h может быть определена двумя способами. В первом определяется координата точки K как среднее значение высот первой и второй антенн:

$$h_{пр} = (h_1 + h_2) / 2;$$

а во втором - как среднее значение высот третьей и четвертой антенн:

$$h_{пол} = (h_3 + h_4) / 2.$$

Для повышения точности целесообразно использовать среднее значение высоты контрольной точки [3]:

$$h = (h_1 + h_2 + h_3 + h_4) / 4.$$

Повышению точности измерений способствует определение углов наклона не непосредственно по значениям высоты контрольной точки, а по разнице координат вспомогательных точек (мест расположения антенн). При этом в определенной степени устраняется влияние систематических ошибок, аналогично дифференциальному режиму. Кроме того, повышению точности способствует и повышение амплитуд колебаний антенн приемников, расположенных на выносных штангах.

Для обработки экспериментальных данных, полученных путем восприятия исследуемой поверхности с помощью оптического прибора, с разработкой программы на языке C-Sharp, входными величинами которой являются координаты центров меток и осей эллипсов, полученные в результате съемки, а выходными - координаты поверхности расположения меток.

В ходе программирования была осуществлена разработка и реализация алгоритмов анализа характеристик поверхностей по их фотографиям. Эти характеристики представляют собой координаты центров проекций меток, нанесённых на поверхность детали, на плоскость фотографии, а так же координаты полюсов этих проекций.

При исследовании изображений было выявлено, что метки являются высококонтрастными областями. Исходя из этого, был разработан алгоритм анализа раstra:

1) требуется перевести цветную фотографию в двухцветную форму; для этого вводится порог контрастности - все точки, яркость которых меньше установленного порога, становятся чёрными, остальные - белыми; также можно использовать изначально черно-белый снимок;

2) значение порога сначала устанавливается небольшое (около 150), поэтому получается двухцветный растр с высококонтрастными областями не только в области кружков, но и в области фона;

3) применяется алгоритм заливки для нахождения сплошных областей белого цвета; при этом фиксируются координаты охватывающих прямоугольников;

4) для выделения меток вводится параметр - процент чёрных пикселей в углах охватывающих прямоугольников (рисунок 3) от общего количества пикселей в углах; это по-

ПРИМЕНЕНИЕ СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ТОЧЕК И ОРИЕНТАЦИИ УЧАСТКОВ ПОВЕРХНОСТИ ТЕЛА СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

звolyет отсеить часть некорректных областей, если значение данного параметра принимает меньшие значения;

5) для отсеивания остальных некорректных областей вводится второй порог контрастности - высокий (около 250), и параметр, представляющий процент чёрных пикселей в охватывающих прямоугольниках от общего в них количества пикселей; при этом должно отсеяться большинство некорректных областей;

6) так же отсекаются непропорциональные и большие области;

7) при правильном подборе значений, что устанавливается в результате нескольких экспериментов, должны остаться только области охватывающих прямоугольников проекций меток.

Если некорректные области всё же остались, либо отсекалась часть правильных, то реализована возможность редактирования раstra - ручного удаления и добавления областей.

Далее необходимо найти координаты осей проекций меток. Это можно сделать, используя координаты охватывающих прямоугольников.

Для нахождения горизонтальной координаты X (рисунок 3) используется формула:

$$X = L + \frac{S_1}{(S_1 + S_2)} \cdot (R - L),$$

где L – координата левого угла охватывающего прямоугольника;

R – координата правого угла охватывающего прямоугольника;

S_1 , S_2 – площади темных областей в углах охватывающих прямоугольников.

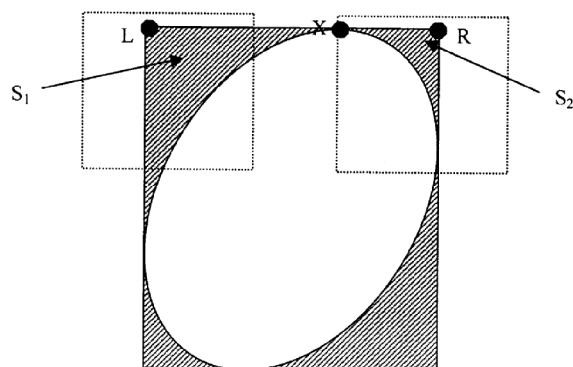


Рисунок 3 - Определение точек пересечения охватывающего прямоугольника и метки

Та же последовательность действий применяется для нахождения всех точек касания охватывающего прямоугольника и проекции метки. Для уточнения полученных данных применяется ещё один приём (рисунок 4).

По краю проекции меток на некотором смещении от точек пересечения описанных прямоугольников и меток фиксируются дополнительные точки. Затем просчитываются длины отрезков, полученных путём соединения попарно всех точек на противоположных сторонах. Противоположные точки, образующие отрезок максимальной длины L_{max} фиксируются как координаты оси проекции метки.

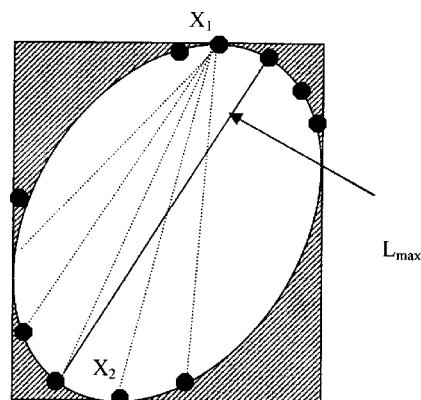


Рисунок 4 - Определение координат осей проекции меток

Точность измерений зависит от точности измерительной и сканирующей аппаратуры, а также качества фотографии.

При восприятии опорной поверхности с помощью теле-, фото- или видеокамеры возникают оптические дефекты изображения. Это негативным образом отражается на определении координат центров меток, что в конечном счете ведет к неправильному воспроизведению поверхности при моделировании. При использовании объектива могут возникнуть такие оптические дефекты как хроматические aberrации, виньетирование, бэк и фронт фокус и дисторсия.

Хроматическими aberrациями называют явление, которое вызывается разложением луча света, проходящего через объектив, на составляющие. В основе процесса лежит явление преломления света под разными углами по причине разной длины волны. По этой же причине белый свет разлагается в радугу.

Данный оптический дефект ведет к снижению четкости изображения и к появлению на объектах с высокой контрастностью цвет-

ных контуров.

Это явление может существенно повлиять на процесс определения центров точек с помощью разработанной программы, которая оценивает число темных и светлых пикселей в углах описываемых прямоугольников.

Следующим рассматриваемым оптическим дефектом является виньетирование. Этот дефект выражается в падении яркости от центра к краям изображения. Это затемнение наиболее заметно на краях фотоснимка и практически отсутствует в центре.

Виньетирование вызывается конструктивными особенностями объективов, из-за которых обрезается световой поток, имеющий значительный угол отклонения от оптической оси объектива. Поэтому максимальное проявление этого оптического дефекта происходит при съемке широкоугольным объективом, а также объективом с большой светосилой при максимальной диафрагме.

Данный дефект будет оказывать непосредственное влияние на определение границ меток, затеняя края и осложняя этот процесс.

Следующим оптическим дефектом является так называемый бэк и фронт фокус. Фронт фокус проявляется в случае, когда, фокусируясь на объект, получается фотография, на которой четкость смещена в сторону камеры. Когда фокусировка смещена в обратную от камеры сторону - это бэк фокус.

Идеальный объектив посылает все лучи света на одну плоскость, на которой располагается матрица, но в случае некоторого смещения объектива возникает данный оптический дефект. Исправляется этот дефект с помощью процесса юстировки.

И, наконец, рассмотрим последний оптический дефект, который носит название дисторсия.

Дисторсия (от лат. Distorsio - искривление) - это оптическое искажение пространства, выражающееся в геометрическом искажении прямых линий.

Дисторсия бывает трех видов: подушкообразная и бочкообразная (рисунок 5) и перспективная.

Подушкообразная дисторсия проявляется при съемке широкоугольным объективом. Для телеобъективов этот дефект неактуален, но он может проявиться при величине фокусного расстояния от 200 мм и более. Портретные и штатные фотообъективы наименее подвержены этому оптическому дефекту.

Дисторсия наиболее заметна, когда в кадре присутствуют прямые линии по всей

его площади. Например, при съемке широкоугольным и сверхширокоугольным объективом (так называемый «рыбий глаз») необходимо будет скорректировать подушкообразную дисторсию.

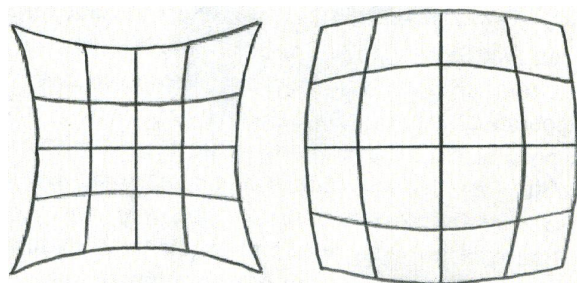


Рисунок 5 - Виды дисторсии:
а - подушкообразная; б - бочкообразная

В качестве примера можно рассмотреть снимок с бочкообразной дисторсией, включающей в себя горизонтальные и вертикальные линии (рисунок 5, б).

Применив инструментарий Lens Correction, исправляем дисторсию и более точно откорректируем результат слайдером. Остается выровнять горизонтальные и вертикальные линии (рисунок 6).

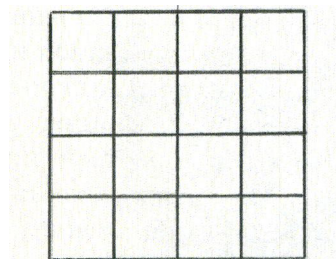


Рисунок 6 - Исправленное изображение

Таким же образом исправляют перспективные искажения с помощью слайдеров, отвечающих за соответствующую коррекцию. Выстроить правильную геометрию кадра помогает специальная сетка. Окончательная обработка кадра производится с помощью обрезания изогнутых краев исправленного кадра (кадрирования). Недостатком кадрирования может явиться влияние на композицию в целом. В процессе коррекции происходит перераспределение разрешения изображения: при коррекции подушкообразной дисторсии может увеличиться резкость по краям кадра по отношению к центру. При коррекции бочкообразной дисторсии происходит обратный эффект.

Перспективная дисторсия с технической точки зрения оптическим искажением не яв-

ПРИМЕНЕНИЕ СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ТОЧЕК И ОРИЕНТАЦИИ УЧАСТКОВ ПОВЕРХНОСТИ ТЕЛА СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

ляется, поскольку передает естественное искривление трехмерного пространства с помощью объектива.

Дисторсия оказывает существенное влияние на величины параметров исследуемых меток (изменение размеров диагоналей эллипсов или диаметров окружностей), а также на форму самого изображения метки (окружность кажется эллиптической формой).

Эти факторы также будут существенно влиять на параметры исследуемого изображения.

Все оптические дефекты обусловлены классом применяемой оптики. Бюджетные объективы обладают более значительными дефектами, нежели дорогие.

Все вышеперечисленные дефекты в той или иной степени могут быть устранены с помощью специального программного обеспечения: Lightroom, Photoshop (Camera Raw) и Capture One.

состояния/ Е.И. Поваляев, С.Н. Хуторной -2004, www.chip-news.ru/archive/chipnews/200206/2.html.- 10 с.

5. Пат. 2288451. Российская Федерация, МПК⁵¹ С2. G01C 21/10 (2006/01). Способ определения положения мобильной машины при движении/ Павлюк А.С., Павлюк С.А., Ашихмин Д.В.; заявитель и патентообладатель: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. - № 2004138625/28; заявл. 28.12.2004 ; опубл. 27.11.2006. Бюл. №33. - 5 с.

6. Свидетельство на полезную модель РФ № 28700. МПК⁵¹ U 1, 7 E 01 C 23/07. Устройство для снятия профилограмм поверхностей / Павлюк А.С., Семенов М.И., Павлюк С.А.; заявитель и патентообладатель: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. - № 2001121521/20; заявл. 31.07.2001;. Опубл. 10.04.2003. Бюл. № 10.-2 с.

7. Muellerschoen R.J., Bar-Sever Y.E., Bertiger W.I., Stovers D.A. Decimeter Accuracy. NASA's Global DGPS for High-precision Users. GPS World. January 2001. P. 14-20.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2162591 Россия, М.пл⁵, G 01 B 11/24,11/16. Способ определения координат точек и ориентации участков поверхности тела сложной формы/ Павлюк А.С., Бизяев С.Н., Баранов А.С., Павлюк С.А. Опубл.27.01.2001, Бюл. № 3 (ч.II). Приоритет 09.11.99, № 99123687/28.

2. Павлюк, А.С. Определение поверхности тела сложной формы [Текст]/ А.С. Павлюк, А.С.Баранов// Вестник Аграрного университета.- 2010.-№2.-с.35-42.

3. Нечаев, Е.Е. Повышение точности и надежности измерений в комплексированных спутниковых навигационных системах методом двойного усреднения: автореф. дис. ... канд. техн. наук/ Е.Е. Нечаев. - М.: 2011. - 17 с.

4. Поваляев, Е.И. Дифференциальные системы спутниковой навигации. Обзор современного

Павлюк А.С., д.т.н., профессор, зав. каф. Автомобили и автомобильное хозяйство,
e-mail: pavlukas@mail.ru,
тел. (83852) 290890.

Баранов А.С., к.т.н., доцент, каф. Автомобили и автомобильное хозяйство,
e-mail: baranowas@mail.ru,
тел. (83852) 290791.

Сафронов С. В., аспирант каф. Автомобили и автомобильное хозяйство
тел. (83852) 290791.

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»,
656038, Барнаул, просп. Ленина, 46.